



DIPLOMARBEIT

Ing.
Sebastian Franz Hochreiter

**Mechanische Be- und Entlüftung
von Klassenzimmern**

2012

DIPLOMARBEIT

Mechanische Be- und Entlüftung von Klassenzimmern

Autor:

Sebastian Franz Hochreiter

Studiengang:

Maschinenbau - Vertiefungsrichtung Gebäudetechnik

Seminargruppe:

KM08w2GVA

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Hans-Gerhard Kretzschmar

Zweitprüfer:

Architekt Dipl.-Ing. Wolfgang Huber

Mittweida, Oktober 2012

Bibliografische Angaben

Hochreiter, Sebastian Franz: Mechanische Be- und Entlüftung von Klassenzimmern, 61 Seiten, 21 Abbildungen, Hochschule Mittweida (FH), Fakultät Maschinenbau

Diplomarbeit, 2012

Satz: \LaTeX

Referat

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der mechanischen Be- und Entlüftung von Klassenzimmern. Dabei werden die physikalischen, die physiologischen als auch die normativen Grundlagen vorgestellt. Darüber hinaus wird auf die Rolle von Kohlenstoffdioxid in der Raumluftechnik eingegangen. Im praktischen Teil werden zwei unterschiedliche, bereits realisierte Anlagen vorgestellt und ein wirtschaftlicher Vergleich dieser Anlagen angestellt.

I. Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
Vorwort	IV
0.1 Einleitung	IV
0.2 Zielsetzung	IV
1 Grundlagen und Begriffsbestimmung	1
1.1 Physikalische Grundlagen	1
1.2 Physiologische Grundlagen	1
1.3 Normative Grundlagen	8
2 CO ₂ als Regelungsparameter	15
2.1 CO ₂ -Ausstoß im Raum	15
2.2 CO ₂ -Konzentration in der Außenluft	16
2.3 Raumkubatur und Luftwechsel	16
2.4 Berechnung der CO ₂ -Konzentration	17
2.5 Erläuterungen zu den berechneten Beispielen	18
2.6 Interpretation der Ergebnisse der Berechnungen	19
3 Vergleich der Lüftungskonzepte	21
3.1 Zentrale Lüftungsanlage	21
3.2 Dezentrale Lüftungsanlagen	30
4 Messung der CO ₂ -Konzentration	39
4.1 Durchführung der Messung	39
4.2 Auswertung der Messung	39
5 Schlussfolgerungen zu den vorgestellten Anlagen	41
5.1 Monetärer Vergleich von einer zentralen mit einer dezentralen Lüftungsanlage	41
5.2 Ergebnis des Kostenvergleichs	42
5.3 Welche Auswirkungen hat die Verwendung eines Lüftungsgeräts auf die Umwelt?	42
5.4 Welche Auswirkungen hat die Verwendung eines Lüftungsgeräts auf das Raumklima? ..	44

A	Berechnung der CO ₂ -Konzentration	47
B	Messung der CO ₂ -Konzentration.....	53
	Literaturverzeichnis	59

II. Abbildungsverzeichnis

1.1 Zusammensetzung der Atemluft	2
1.2 Anteil der Unzufriedenen nach der personenbezogenen Luftrate	4
1.3 Verunreinigungslast 1 olf	5
1.4 Verunreinigungslast 1 dezipol	6
1.5 Anteil der Unzufriedenen nach dezipol	7
2.1 Schadstoffbilanz eines zu lüftenden Raums	17
4.1 Gemessener Verlauf der CO ₂ -Konzentration	40
A.1 Berechnung CO ₂ -Konzentration bei 600m ³ /h - Seite 1	47
A.2 Berechnung CO ₂ -Konzentration bei 600m ³ /h - Seite 2	48
A.3 Berechnung CO ₂ -Konzentration bei 300m ³ /h - Seite 1	49
A.4 Berechnung CO ₂ -Konzentration bei 300m ³ /h - Seite 2	50
A.5 Berechnung CO ₂ -Konzentration bei 1m ³ /h - Seite 1	51
A.6 Berechnung CO ₂ -Konzentration bei 1m ³ /h - Seite 2	52
B.1 Datenblatt CO ₂ -Logger	53
B.2 Messreihe CO ₂ -Konzentration - Seite 1	54
B.3 Messreihe CO ₂ -Konzentration - Seite 2	54
B.4 Messreihe CO ₂ -Konzentration - Seite 3	55
B.5 Messreihe CO ₂ -Konzentration - Seite 4	55
B.6 Messreihe CO ₂ -Konzentration - Seite 5	56
B.7 CO ₂ -Konzentration berechnet analog zu Messreihe - Seite 1	57
B.8 CO ₂ -Konzentration berechnet analog zu Messreihe - Seite 2	58

III. Tabellenverzeichnis

1.1	Gesamtwärmeabgabe einer Person bei verschiedener Aktivität	9
1.2	Mindest-Außenluftvolumenströme nach ÖNORM H 6000-3.....	9
1.3	Schalldruckpegel in Unterrichtsräumen	11
1.4	Personenbezogene Außenluft-Volumenströme	11
1.5	Beispiele für VerunreinigungsKonzentrationen in der Außenluft	12
1.6	Klassierung der Raumluftqualität	13
1.7	Außenluftvolumenstrom je Person	13
2.1	Typische CO ₂ -Abgaberaten in l/h pro Person	16
3.1	Herstellkosten einer zentralen Lüftungsanlage	24
3.2	Transmissionsverluste der Klassen Volksschule Badhofgastein	25
3.3	Lüftungsverluste mit mech. Lüftung Volksschule Badhofgastein	26
3.4	Elektrische Antriebsenergie Volksschule Badhofgastein	27
3.5	Energieverbrauch Nachheizregister Volksschule Badhofgastein	27
3.6	Betriebskosten zentrale Lüftungsanlage Volksschule Badhofgastein	28
3.7	Lüftungsverluste mit natürlicher Lüftung Volksschule Badhofgastein	29
3.8	Betriebskosten natürliche Lüftung Volksschule Badhofgastein.....	29
3.9	Herstellkosten einer dezentralen Lüftungsanlage.....	32
3.10	Transmissionsverluste HTBLA Salzburg	33
3.11	Lüftungsverluste mit mech. Lüftung HTBLA Salzburg	34
3.12	Elektrische Antriebsenergie HTBLA Salzburg	34
3.13	Energieverbrauch Nachheizregister HTBLA Itzling	35
3.14	Betriebskosten dezentrale Lüftungsanlage HTBLA Salzburg	36
3.15	Lüftungsverluste mit natürlicher Lüftung HTBLA Salzburg	36
3.16	Betriebskosten natürliche Lüftung HTBLA Salzburg	37
5.1	Vergleichbare Kosten zentrale Lüftungsgeräte	41
5.2	Vergleichbare Kosten dezentrale Lüftungsgeräte	42
5.3	CO ₂ -Emissionen zentrale Lüftungsanlage Volksschule Badhofgastein	43
5.4	CO ₂ -Emissionen natürliche Lüftung Volksschule Badhofgastein	43

5.5	CO ₂ -Emissionen zentrale Lüftungsanlage HTBLA Salzburg	44
5.6	CO ₂ -Emissionen natürliche Lüftung HTBLA Salzburg	44

IV. Vorwort

0.1 Einleitung

Aufgrund der fortschreitenden Verknappung der fossilen Ressourcen auf unserem Planeten Erde werden alle Energieformen zumindest mittelfristig immer teurer. Um diesen stetig steigenden Energiekosten den Schrecken zu nehmen, wird vermehrt versucht, neu errichtete, aber auch bestehende Gebäude möglichst energieeffizient auszuführen. Dass dies auch dem allgemeinen Umdenken in ökologischer Hinsicht entgegen kommt, ist ein weiterer Nutzen. In erster Linie wird versucht den Energieverbrauch des Gebäudes durch bauliche Maßnahmen zu senken. Die wichtigsten Stellschrauben in dieser Hinsicht sind:

- kompakter Baukörper mit möglichst geringer Außenfläche im Vergleich zur Nutzfläche des Gebäudes
- erhöhte Wärmedämmung der raumumschließenden Flächen gegen Außenluft
- Nutzung von passiven Quellen (vor allem solare Gewinne über die Fenster)

Vor allem der Erhöhung der Dämmstärken an den außenliegenden Wänden sind Grenzen gesetzt. Denn ab einer gewissen Dämmstärke steht der erhöhte Dämmaufwand nicht mehr in einem wirtschaftlichen Verhältnis zur erzielten Einsparung. Es wird parallel dazu versucht, die Gebäudehülle möglichst dicht zu gestalten, was jedoch zu neuen Problemen führen kann. Zum Einen kann es zu einem unbehaglichen Raumklima kommen. Zum Anderen kann es zu Schäden an der Bausubstanz durch beispielsweise Schimmel kommen. Infolgedessen können Gesundheitsschäden bei den Personen auftreten, die sich im Raum aufhalten.

Zuverlässig verhindern lässt sich dies nur durch den Einsatz einer mechanischen Belüftung, im Idealfall unter Verwendung eines Wärmerückgewinners. Durch die Verwendung einer Wärmerückgewinnung können die Energieverluste durch die Fensterlüftung, je nach Wärmerückgewinnungsgrad, massiv reduziert werden.

Die gleichen Vorteile gelten auch für die Verwendung einer mechanischen Be- und Entlüftung in Klassenzimmern. Zusätzlich ergibt sich durch den stetigen Luftaustausch eine bessere Behaglichkeit im Raum und dadurch ein angenehmeres Milieu für bessere Lernleistungen der Schüler.

0.2 Zielsetzung

Die Zielsetzung dieser Diplomarbeit ist die Beschreibung und Erhebung aller notwendigen Faktoren, um zum Einen zu einer Bauherrenentscheidung für die Klassenraumlüftung zu kommen und zum Anderen sollen die Kriterien und Vorschriften für eine funk-

tionierende und dem Stand der Technik entsprechende Anlage errichten zu können, erläutert werden. Des weiteren wird eine Betrachtung der Wirtschaftlichkeit durchgeführt.

Dazu werden im theoretischen Teil die physikalische Grundlagen vorgestellt. Weiters wird auf die physiologischen Themen, wie zum Beispiel die Behaglichkeit, eingegangen. Außerdem auf die Vorgaben aus der Literatur bzw. aus den europäischen und österreichischen Normen eingegangen.

Im praktischen Teil wird die CO_2 -Konzentration als Regelungsparameter betrachtet und ein von mir erstelltes Berechnungsmodell und dessen Grundlagen vorgestellt. Des weiteren werden CO_2 -Messungen in Klassenzimmern mit und ohne Lüftungsgerät durchgeführt, mit dem Berechnungsmodell verglichen und ausgewertet.

Im praktischen Teil werden auch die drei grundsätzlichen Anlagenkonzepte zur Klassenraumlüftung vorgestellt:

- Fensterlüftung
- Lüftung mit einem zentralen Lüftungsgerät
- Lüftung mit mehreren dezentralen Lüftungsgeräten

Dazu werden zwei bereits realisierte Anlagen vorgestellt, die Unterschiede herausgearbeitet und die Unterschiede im Aufbau und Betrieb erklärt. Zusätzlich wird auf die dahinterliegende Regelungsstrategie etwas näher eingegangen.

Zu guter Letzt wird noch eine wirtschaftliche Prüfung der beiden realisierten Varianten durchgeführt. Dabei werden die zu erwartenden Betriebskosten einer Klasse mit und ohne mechanische Lüftung verglichen.

1 Grundlagen und Begriffsbestimmung

Der menschliche Organismus kann im Normalfall in etwa drei bis vier Wochen ohne Nahrungszufuhr funktionieren. Ohne Wasser kann man ca. drei Tage überleben. Der derzeitige Weltrekord im Apnoetauchen liegt bei 11 Minuten und 35 Sekunden, gehalten von Stéphane Mifsud¹. Man kann bereits erkennen, dass Luft den wichtigsten Grundstein zum Überleben bildet. Darum möchte ich nun in Folge auf dieses, uns alle umgebende Element, näher eingehen.

1.1 Physikalische Grundlagen

Die Atemluft unserer Atmosphäre ist ein homogenes Gasgemisch, dass sich größtenteils aus den beiden Komponenten

- Stickstoff N_2 (ca. 78 Vol.-%)
- Sauerstoff O_2 (ca. 21 Vol.-%)

zusammensetzt. Trockene Luft besteht also zu 99 Vol.-% aus diesen beiden Hauptkomponenten. Den größten Anteil an dem verbliebenen Prozent haben Argon (0,93 Vol.-%) und Kohlenstoffdioxid (0,03 Vol.-%). Den Rest bilden verschiedene Edelgase und gasförmige Verbindungen².

Unter realen Bedingungen ist auch noch Wasser in Form von Wasserdampf in der Luft enthalten. Der Anteil an gasförmigem Wasser schwankt je nach Umgebung und Höhe zwischen 0,1 an den Polen und 3,0 Volums-Prozent in den Tropen. In Bodennähe kann von einem mittleren Anteil von 1,3% ausgegangen werden.

1.2 Physiologische Grundlagen

Der Mensch benötigt die Luft in dieser Zusammensetzung, um überleben zu können. In etwa ein Viertel des in der Luft enthaltenen Sauerstoffs wird durch den Stoffwechsel innerhalb der Lungenflügel umgewandelt. Der Stickstoffanteil steigt nur leicht von ca. 78% auf 79% an. Jedoch verundertacht (!) sich der Kohlendioxidgehalt. Er steigt von einem marginalen Anteil von 0,03 auf einen Wert von etwa 4 Volums-Prozent³. Ein junger Erwachsener hat eine Atemfrequenz im Ruhezustand von etwa 15 Atemzüge pro

¹ vgl. Homepage von Aida International

² vgl. Handbuch der Klimatechnik - Band 1, S. 76

³ vgl. Handbuch der Klimatechnik - Band 1, S. 77

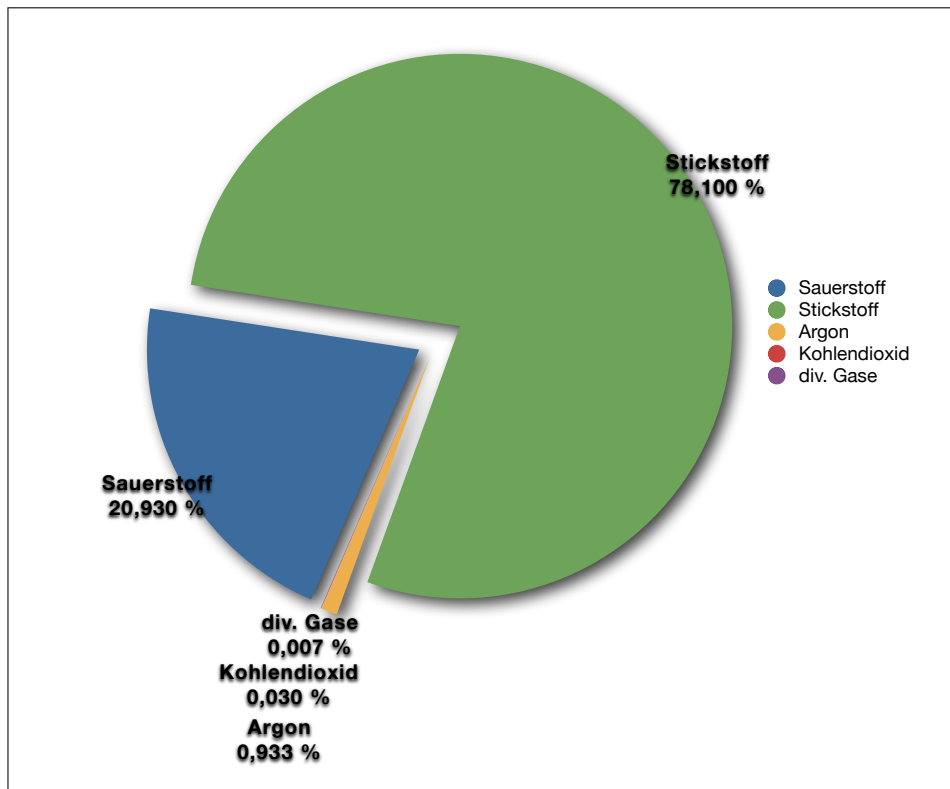


Abbildung 1.1: Zusammensetzung der Atemluft

Minute. Bei einem durchschnittlichen Lungenvolumen von 500ml bedeutet dies, dass ein Jugendlicher, der (mehr oder weniger) ruhig in einer Klasse sitzt, in etwa 18 Liter Kohlendioxid pro Stunde emittiert. Was dies für die Raumlufthqualität bedeutet, möchte ich nun im weiteren Verlauf klären.

1.2.1 Behaglichkeit - Raumlufthqualität

Die Behaglichkeit ist ein rein subjektives Empfinden der Personen in einem Raum, die von verschiedene Faktoren abhängig ist. Unter Behaglichkeit wird verstanden, dass die Personen, die sich in einem Raum befinden, sich wohl fühlen und keine Veränderungen des Raumklimas wünschen. Wie in den Abbildungen 1.2 auf Seite 4 und 1.5 auf Seite 7 zu sehen ist, wird es nie möglich sein, dass alle Personen mit dem Raumklima zufrieden sind. Die Einflussfaktoren aus raumlufthtechnischer Sicht werden unterteilt in⁴:

- thermische Einflussgrößen (wie z.B.: Raumlufth- und Außenlufthtemperatur; die empfundene Temperatur; die wiederum von der Oberflächentemperatur der Umschließungsflächen; Luftfeuchte und eventuelle Zugerscheinungen)
- nichtthermische Faktoren (wie z.B.: Luftschall; CO₂-Gehalt der Raumlufth; Gehalt an subjektiv wahrnehmbaren Spurenstoffen und Gehalt an gesundheitsschädlichen Stoffen)

⁴ vgl. Handbuch der Klimatechnik - Band 1, S. 2

Der Begriff der Raumlufthqualität umfasst die nichtthermischen Wirkungen der Raumlufth, auf das Wohlbefinden und die Gesundheit der Menschen. Die Luft dient dem Menschen vor allem zur Atmung, um dabei den für den Stoffwechsel notwendigen Sauerstoff zu- und das Kohlendioxid abzuführen. Dabei stellen die Raumnutzer folgende Bedingungen an die Raumlufth⁵:

- Die Luft muss frisch sein und darf nicht unangenehm riechen.
- Es darf keinesfalls gesundheitsgefährdend sein, die in dem Raum befindliche Luft einzuatmen.

Befinden sich in einem Raum mehrere Menschen, ergeben sich in Bezug auf die Forderung nach frischer Luft die ersten Probleme. Denn die Luftqualität in einem Raum wird von jedem Menschen subjektiv und höchst unterschiedlich bewertet. Beschwerth sich ein Nutzer eines Raums bereits über die Qualität der Raumlufth, könnte ein anderer noch äußerst zufrieden sein. Personen werden hierbei als unzufrieden bezeichnet, wenn sie im Moment des Betretens eines Raums die Luft als „nicht akzeptabel“ einstufen. Die Festlegung, ob der Nutzer zufrieden oder unzufrieden ist, muss unbedingt im Moment des Betretens erfolgen. Ansonsten stellt sich beim Menschen rasch eine Gewöhnung an die eigentlich schlechte Raumlufth ein. Dabei werden manche Gerüche schneller akzeptiert als andere. Zum Beispiel gewöhnt man sich an Körpergeruch wesentlich schneller, als an „fremden“ Gerüchen, wie zum Beispiel von Zigarettenrauch oder Knoblauch. Mit der Frage der Verteilung der zufriedenen bzw. unzufriedenen Raumnutzern hat sich der dänische Ingenieur Povle Ole Fanger im 20. Jahrhundert eingehend beschäftigt. Unter anderem hat er folgende Formel entwickelt, die die Anzahl der Unzufriedenen in Abhängigkeit der personenbezogenen Luftrate beschreibt:

$$PD = 395 * e^{-1,83 * \dot{q}^{0,25}} \quad (1.1)$$

PD ... Prozentsatz der Unzufriedenen

q̇ ... Außenluftvolumenstrom in l/s

Wird aus dieser Formel ein Graph gebildet (siehe Abb. 1.2 auf der nächsten Seite), kann man daraus erkennen, dass man niemals alle Personen in einem Raum zufrieden stellen kann. Durch eine Erhöhung der personenbezogenen Luftrate lässt sich jedoch der Anteil der Unzufriedenen signifikant verbessern.

1.2.2 Quellen der Luftverunreinigung

CO₂-Maßstab nach Pettenkofer

Zu Beginn der Bewertung der Raumlufthqualität, wurde der Mensch als alleinige Quelle der Luftverunreinigungen angesehen. Noch heute haben die von Max von Pettenkofer schon im 19. Jahrhundert formulierten Bedingungen Gültigkeit. Aus umfangreichen Un-

⁵ vgl. Recknagel, S. 153

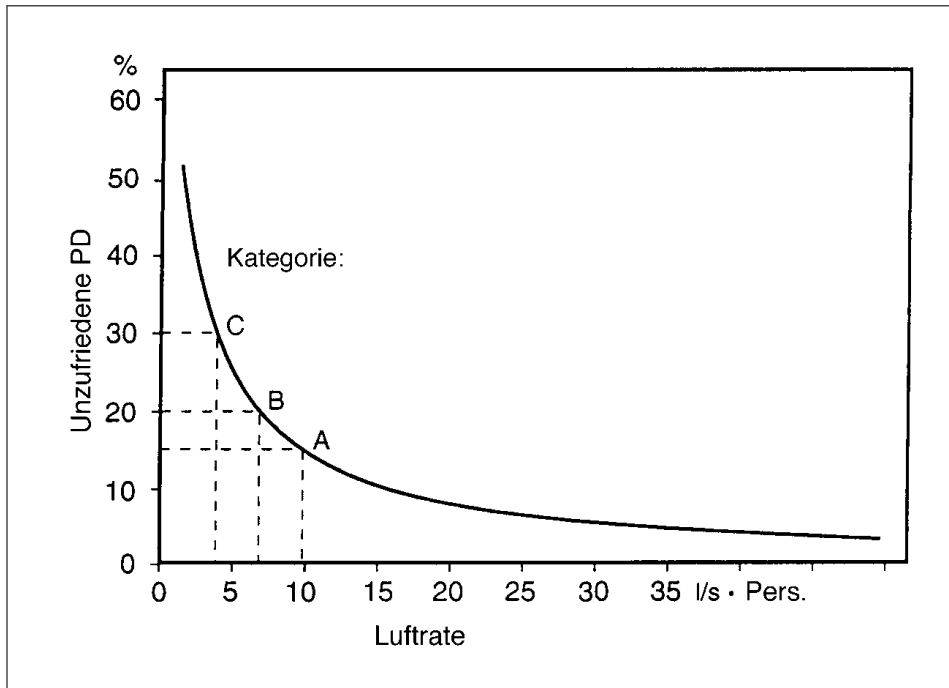


Abbildung 1.2: Anteil der Unzufriedenen in Abhängigkeit der personenbezogenen Luftrate (siehe Recknagel S. 159, Bild 1.2.4-8)

tersuchungen des CO₂-Pegels kam Pettenkofer zum Schluss, dass eine Konzentration von 0,1 Volums-Prozent in der Raumluft ein brauchbares Kriterium für eine gute Raumluftqualität sei. Der Wert der CO₂-Konzentration von 0,1 Vol.-Prozent (bzw. 1000 ppm) wird noch heute als „Pettenkofer-Zahl“ bezeichnet⁶.

Aufgrund der stetig steigenden Energiepreise (und leider nicht immer aufgrund des steigenden ökologischen Bewusstseins) wird immer mehr auf die erhöhte Energieeffizienz der errichteten Gebäude geachtet. Dies bringt mit sich, dass die Gebäudehüllen immer dichter werden. Konnte in früheren Zeiten der hygienisch notwendige Luftwechsel noch zu einem wesentlich größeren Anteil aus den diversen Spalten und Ritzen bei Fenstern und Türen bestritten werden, müssen heute technische Maßnahmen ergriffen werden, um die Raumluftqualität sicher zu stellen. Eine Fensterlüftung ist zum Einen aus energetischer Sicht nicht sinnvoll und setzt zum Anderen vom Nutzer eine gewisse Disziplin voraus, die vor allem bei kalten Außentemperaturen höchst selten ist (Sprichwort: „Es sind schon mehr erfroren, als erstunken!“).

Luftverunreinigungen

Wie bereits beschrieben, fand die Bewertung der Raumluftqualität nach Pettenkofer weltweit in verschiedenen Normen und Richtlinien Berücksichtigung und wurde für die Bestimmung der notwendigen Luftvolumenströme in einem Raum herangezogen. Ob-

⁶ vgl. Recknagel S.153

wohl die Vorgaben von Pettenkofer erfüllt wurden, kam es jedoch in vielen Gebäuden zu Beschwerden wegen der als unangenehm empfundener Raumluft. Zunächst konnte die Ursache nicht erhoben werden und auch Erklärungen dafür gab es keine. Diese Erscheinung wurde unter dem Begriff „Sick Building Syndrom“ bekannt.

Unter anderem wurden auf diesem Gebiet durch P. O. Fanger umfangreiche Studien und Versuche durchgeführt, die zum Ergebnis führten, dass der Mensch nicht alleine für das Absinken der Raumluftqualität verantwortlich ist. Auch der Raum mitsamt seiner Einrichtung wie Bodenbeläge, Möbel und auch die Lüftungsanlage selbst sind wesentliche Quellen der Luftverunreinigungen. Oftmals stellen sogar die „nichtmenschlichen“ Belastungen den überwiegenden Anteil dar. Um menschliche und nicht menschliche Belastungen vergleichen zu können, wurde die Einheit **olf** eingeführt, die die Verunreinigungslast beschreibt. Per Definition wird eine Verunreinigung von einem olf von einer Standardperson verursacht. Eine Standardperson ist ein Erwachsener, der eine sitzende Tätigkeit ausführt und 0,7 Bäder pro Tag nimmt⁷.

Beispielsweise kann ein unbesetzter Raum, aufgrund der Einrichtung, bereits von sich aus eine Verunreinigungslast von 3 olf aufweisen. Betreten nun zwei Standardpersonen den Raum, ergibt sich im Raum eine Verunreinigungslast von in Summe 5 olf, die als Basis für die Auslegung der Raumlüftechnischen Anlage verwendet wird.

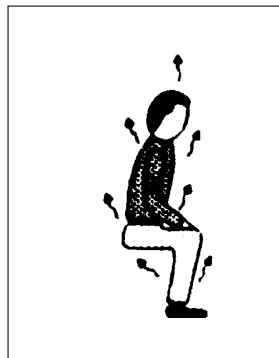


Abbildung 1.3: Verunreinigungslast 1 olf (siehe Recknagel S. 157, Bild 1.2.4-5)

Raumluftqualität und deren Bewertung

Um die Betrachtung unabhängig davon zu machen, ob es Menschen oder Einrichtungsgegenstände sind, welche die Raumluftqualität verschlechtern, wurde die Einführung eines Bewertungsmaßstabs notwendig. Anders als der von Pettenkofer entwickelte CO₂-Maßstab musste er folgende Anforderungen erfüllen:

1. Alle Verunreinigungsquellen (unabhängig ob menschlichen oder nichtmenschlichen Ursprungs) werden berücksichtigt.
2. Der Wert der Raumluftqualität muss auf die durch den Menschen empfundene Qualität Rückschlüsse zulassen.

⁷ vgl. Recknagel S. 156

Anhand dieser Vorgaben wurde die Einheit **Pol** für die empfundene Raumluftqualität eingeführt. Wobei die Einheit 1 Pol als die empfundene Luftqualität in einem Raum mit einer Verunreinigungslast von 1 olf und einem Lüftungsvolumenstrom von 1 l/s definiert ist. Es ist anzumerken, dass bei einem Wert von 1 Pol die Raumluftqualität bereits sehr schlecht ist (1 l/s entspricht 3,6 m³/h). Aus diesem Grund wurde die in der Praxis wesentlich einfacher zu handhabende Einheit **dezipol** eingeführt (1 dezipol entspricht 0,1 Pol oder 1 olf bei 10 l/s).

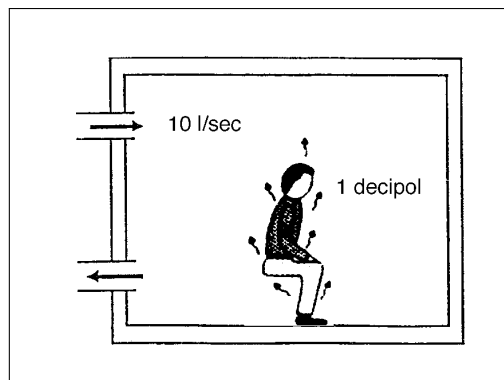


Abbildung 1.4: Verunreinigungslast 1 dezipol (siehe Recknagel S. 158, Bild 1.2.4-7)

Da die Verunreinigungslast (G) ein Wert ist, der nicht gemessen werden kann, muss er über folgenden mathematischen Zusammenhang berechnet werden:

$$C = 10 * \frac{G}{\dot{V}} \quad (1.2)$$

C ... empfundene Luftqualität in dezipol

\dot{V} ... Volumenstrom in l/s

Aus diesem Zusammenhang folgt, dass je niedriger der dezipol-Wert ist, desto höher ist die Raumluftqualität.

Für die Bestimmung des Werts der empfundenen Luftqualität gibt es bis dato noch keine Messgeräte. Aus diesem Grund müssen noch immer sogenannte „Nasen“ verwendet werden. Nasen sind Menschen, die ihren Geruchssinn trainiert haben und damit den dezipol-Wert der Luftqualität relativ genau bestimmen können⁸. Untrainierte Menschen können jedoch die empfundene Raumluftqualität nur in drei grobe Kategorien unterscheiden:

- gut
- akzeptabel
- nicht akzeptabel

⁸ vgl. Recknagel, S. 160

Aus der von Fanger entwickelten Formel:

$$PD = 395 * e^{-1,83 * q^{0,25}} \quad (1.3)$$

kann mit dem oben stehenden Zusammenhang aus Volumenstrom und Raumluftqualität folgender Ausdruck abgeleitet werden:

$$PD = 395 * e^{-3,25 * C^{-0,25}} \quad (1.4)$$

Wird auch aus dieser Formel der Verlauf abgebildet (siehe Abb. 1.5), kann man daraus erkennen, dass aufgrund einer besseren Luftqualität, der Anteil der Unzufriedenen stetig sinkt.

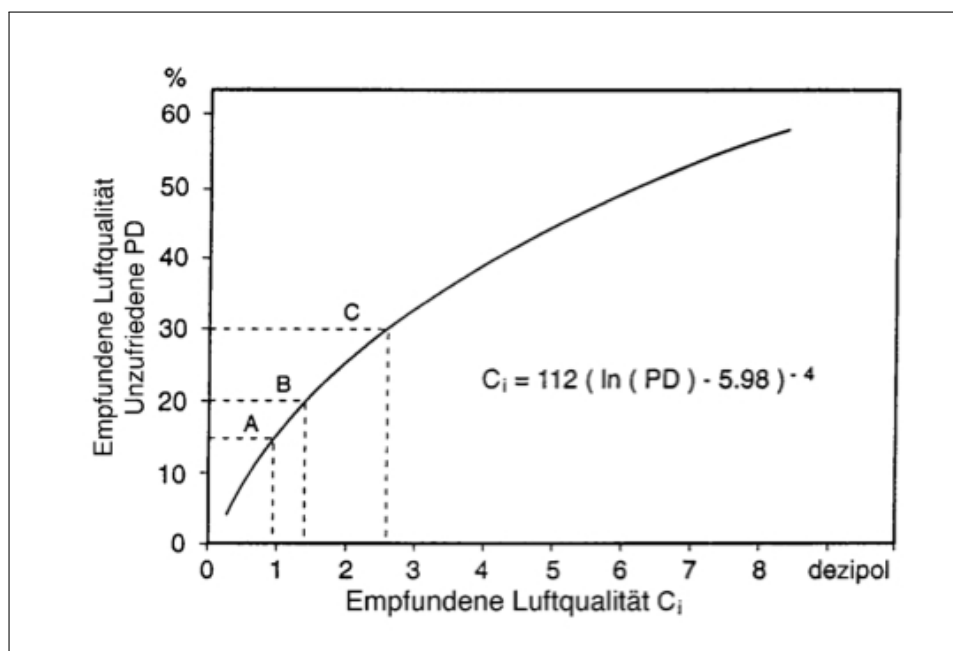


Abbildung 1.5: Anteil der Unzufriedenen in Abhängigkeit der empfundenen Luftqualität (siehe Recknagel S. 159, Bild 1.2.4-8)

1.3 Normative Grundlagen

In diesem Abschnitt möchte ich auf die unterschiedlichen Regelwerke und Normen eingehen. Allerdings beschränke ich mich dabei auf die das Raumklima in Schulklassen betreffende Literatur.

1.3.1 ÖNORM H 6000-3:1989 01 01 - Lüftungstechnische Anlagen - Hygienische und physiologische Anforderungen für den Aufenthaltsbereich von Personen

Anwendungsbereich der NORM

„Diese ÖNORM ist Grundlage für den Entwurf und den Betrieb von Lüftungstechnischen Anlagen hinsichtlich der hygienischen und physiologischen Anforderungen an Aufenthaltsräume. Diese ÖNORM ist nicht anwendbar, wenn der Raumluftzustand durch Produktionsverfahren oder durch das Produkt bestimmt wird und die für Personen vorgegebenen Behaglichkeitsgrenzen nicht eingehalten werden können.⁹“

Als Aufenthaltsbereich gilt der Bereich eines Raumes an den gewisse Anforderungen in Bezug auf die Behaglichkeit gestellt werden. Für die Behaglichkeit werden in dieser Norm die Einflussgrößen in drei verschiedene Arten unterteilt:

- individuelle Einflussgrößen (z.B.: Bekleidung, Tätigkeit, physische und psychische Verfassung der Personen im Aufenthaltsbereich)
- bauphysikalische Einflussgrößen (z.B.: Schall, Farbe, Beleuchtung, Wärmestrahlung)
- raumluftechnische Einflussgrößen (z.B.: Lufttemperatur, Luftbewegung, Luftfeuchtigkeit, Luftzusammensetzung, Geräusch)

Die Norm weist darauf hin, dass die unterschiedlichen Einflussgrößen in Wechselwirkung zu einander stehen können. Des weiteren können nur die raumluftechnischen Einflussgrößen durch eine Lüftungsanlage beeinflusst werden. Zusätzlich kann eine Lüftungstechnische Anlage nur einen raumluftechnischen Zustand herstellen, weswegen nicht alle Personen die gleichen Empfindungen in Bezug auf die Behaglichkeit haben werden. Dies entsteht durch unterschiedliche körperliche und psychische Voraussetzungen und vor allem durch die unterschiedliche Bekleidung.

In der ÖNORM H 6000 Teil 3 wird der Außenluftvolumenstrom zum einen anhand der körperlichen Tätigkeit der Personen (siehe Tabelle 1.1 auf der nächsten Seite) und damit anhand der anfallenden Wärmelasten in einem Raum berechnet. Weiters wird in dieser

⁹ siehe ÖNORM H6000-3, S. 1

Norm auf die Kleidung als wichtigen Faktor hingewiesen. Ein direkter Bezug auf die Raumlufthygiene findet sich in dieser Norm jedoch nicht.

Tabelle 1.1: Gesamtwärmeabgabe (sensibel und latent) einer Person mittlerer Größe bei verschiedener Aktivität (siehe ÖNORM H 6000-3, S. 3, Tabelle 1)

körperliche Beanspruchung (Kategorien gemäß AAV)	Aktivitätsniveau (Aktivitätsgrad)	Gesamtwärmeabgabe/Person P_M (in W)
gering	ruhig sitzen (lesen oder schreiben)	100
	leichte manuelle Arbeit im Sitzen (z.B.: Büroarbeit)	120
normal	leichte manuelle Arbeit im Stehen (z.B.: Friseur)	150
	mittelschwere Arbeit	200
stark	schwere körperliche Arbeit (Schwerstarbeit)	300
	schwerste körperliche Arbeit (Schwerstarbeit)	bis 700

In der ÖNORM wird darauf hingewiesen, dass zur Berechnung der personenbezogenen Außenluftvolumenströme einzig und allein die Konzentration des Kohlenstoffdioxids ausschlaggebend ist:

„In dieser ÖNORM wird lediglich die CO_2 -Konzentration zur Bemessung des personenbezogenen Mindest-Außenluftvolumenstroms herangezogen. Unter der Voraussetzung, dass der CO_2 -Volumenanteil in der Außenluft 350 ppm (parts per million) beträgt und die zulässige maximale CO_2 -Konzentration in Räumen mit 1000ppm festgelegt wird, ergeben sich die Mindestvolumenströme gemäß Tabelle 2.“(siehe ÖNORM H6000-3, S. 6)

Tabelle 1.2: Mindest-Außenluftvolumenströme (vgl. ÖNORM H 6000-3, S. 7, Tabelle 3)

Gesamtwärmeabgabe (in W)	$V_{AUL,min}$ je Person	
100	6 l/s	ca. 20 in m ³ /h
120	8 l/s	ca. 30 in m ³ /h
150	10 l/s	ca. 35 in m ³ /h
200	13 l/s	ca. 45 in m ³ /h
300	20 l/s	ca. 70 in m ³ /h

Für Räume in denen geraucht werden darf, sind lt. ÖNORM H6000-3 die aus Tabelle 1.2

angegebenen Außenluftvolumenströme mindestens um 50 Prozent zu erhöhen - was für Schulklassen nicht von Belang ist.

1.3.2 ÖNORM H 6039:2008 - Lüftungstechnische Anlagen - Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Schul-, Unterrichts- oder Gruppenräumen sowie Räumen mit ähnlicher Zweckbestimmung

Diese Norm beschäftigt sich mit der kontrollierten mechanischen Be- und Entlüftung von Klassenzimmern und verweist darauf, dass im energie- und komfortgerechten Schulbau die mechanische Belüftung unabdingbar ist. Grund hierfür ist, dass in Räumen (hier Klassenzimmern) mit einer hohen Personenbelegung die CO₂-Konzentration stark ansteigt. Dadurch kann es zu Beeinträchtigungen der Leistungsfähigkeit und Konzentration kommen. Kohlendioxid kann daher als Leitsubstanz der Raumluftqualität dienen. Eine natürliche Lüftung (über Fenster) stellt keine effektive Maßnahme zur Raumluftverbesserung dar und ist mit Energieverlusten verbunden und führt zumeist zu Lärm- und Staubbelastungen¹⁰.

Laut der ÖNORM H 6039 ist der Zweck der kontrollierten Be- und Entlüftung eines Klassenzimmers die Verbesserung des Wohlbefindens und der Leistungsfähigkeit der Personen durch:

- die Verbesserung der Luftqualität,
- die Verbesserung der thermischen Behaglichkeit gegenüber natürlicher Lüftung.

Für die Berechnung der erforderlichen Volumenströme und der einzuhaltenden Werte für die Raumluftfeuchte wird in der ÖNORM H 6039 auf die europaweit geltende Norm EN 13779 (siehe Kapitel 1.3.3 auf Seite 12) verwiesen. Auf diese Norm möchte ich im weiteren Verlauf dieses Abschnitts noch etwas genauer eingehen. Für die Klassifizierung der Raumluftqualität wird diese in vier Kategorien unterteilt:

- IDA1 Erhöhung der CO₂-Konzentration gegenüber der Außenluft um 350 ppm - Dies entspricht einer hohen Raumluftqualität.
- IDA2 Erhöhung der CO₂-Konzentration gegenüber der Außenluft um 500 ppm - Dies entspricht einer mittleren Raumluftqualität.
- IDA3 Erhöhung der CO₂-Konzentration gegenüber der Außenluft um 800 ppm - Dies entspricht einer mäßigen Raumluftqualität.
- IDA4 Erhöhung der CO₂-Konzentration gegenüber der Außenluft um 1200 ppm - Dies entspricht einer niedrigen Raumluftqualität.

¹⁰ vgl. ÖNORM H6039, S. 3

Zu beachten ist, dass die in dieser Aufstellung genannten Werte für die CO₂-Konzentration als Erhöhung der Außenluftkonzentration verstanden werden müssen. Als Mindestanforderung für Klassenzimmer wird von der Norm IDA4 festgelegt, jedoch ist die Kategorie IDA 3 anzustreben. Bei einer CO₂-Konzentration in der Außenluft von 450ppm entspricht das bereits eine Gesamtkonzentration von 1250ppm und liegt damit bereits über dem von Pettenkofer definierten Grenzwert von 1000ppm.

Bezüglich der maximal zulässigen Schalldruckpegel im Aufenthaltsbereich wird die in der ÖNORM EN 13779 enthaltene Aufstellung noch etwas verfeinert. Dabei wird noch etwas genauer auf die unterschiedlichen Arten von Unterrichtsräumen (wie z.B. Musikzimmer, normale Unterrichtszimmer und Spielzimmer) eingegangen (siehe Tabelle 1.3).

Tabelle 1.3: Schalldruckpegel in Unterrichtsräumen (siehe ÖNORM H 6039, S.6)

Anforderungen an den Raum	Raumart	Schall-druckpegel	Bezugs-Nachhall-zeit
hoch	z.B. Musikzimmer, Ruheräume	30 dB(A)	1 s
mittel	z.B. Unterrichtsräume	35 dB(A)	1 s
niedrig	z.B. Spielzimmer	40 dB(A)	1 s

In dieser ÖNORM wird weiters der Außenluft-Volumenstrom in Abhängigkeit des Alters der Personen in einem Klassenzimmer festgelegt. Bei stark belasteten Gebieten (wie z.B. in Städten) muss die erhöhte CO₂-Konzentration in der Außenluft berücksichtigt werden.

Tabelle 1.4: Personenbezogene Außenluft-Volumenströme (siehe ÖNORM H6039, S.8)

Alter	IDA3 mit durchschnittlicher CO ₂ -Konzentrationserhöhung 800ppm (Vol.-Strom pro Person)	IDA3 mit durchschnittlicher CO ₂ -Konzentrationserhöhung 1200ppm (Vol.-Strom pro Person)
bis 6 Jahre	15 m ³ /h	10 m ³ /h
bis 10 Jahre	19 m ³ /h	13 m ³ /h
bis 14 Jahre	24 m ³ /h	16 m ³ /h
bis 19 Jahre	27 m ³ /h	18 m ³ /h
älter als 19 Jahre oder Lehrperson	32 m ³ /h	21 m ³ /h

1.3.3 ÖNORM EN 13779 - Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlagen

Bei der ÖNORM EN 13779 handelt es sich um die umfangreichste der vorgestellten Normen. Teilweise nehmen die bereits beschriebenen Normen Bezug auf die ÖNORM EN 13779. In der Ausgabe der ÖNORM EN 13779 vom 1. Mai 2005 wird auf die notwendigen Festlegungen für Lüftungs- und Klimaanlagen bezüglich der Parameter des Innenraumklimas und der Definition von Auslegungskriterien bzw. Anlagenleistungen eingegangen. Dies dient vor allem dazu, um mit akzeptablen Herstell- und Betriebskosten ein behagliches und unbedenkliches Raumklima zu schaffen. Diese Norm gilt dabei für die Planung, den Bau und den Betrieb von Lüftungsanlagen in Nichtwohngebäuden, in denen sich Menschen aufhalten - also auch für Schulbauten. Neben der Definition von Begriffen und Abkürzungen werden auch Standardwerte für Verunreinigungskonzentrationen in der Außenluft festgelegt (siehe Tabelle 1.5). Die Norm weist darauf hin, dass es sich bei den angegebenen Werten um mittlere Jahreskonzentrationen handelt und die maximalen Werte wesentlich höher liegen können.

Tabelle 1.5: Beispiele für Verunreinigungskonzentrationen in der Außenluft (vgl. ÖNORM EN 13779, S. 12)

Beschreibung des Orts	CO ₂ -Konzentration
Ländliche Gebiete; keine bedeutenden Emissionsquellen	350 ppm
Kleine Städte	375 ppm
Verschmutzte Stadtzentren	400 ppm

Ähnlich der Klassifizierung in der ÖNORM H 6039 wird auch in der ÖNORM EN 13779 die Raumlufthqualität in folgende vier Kategorien unterteilt:

RAL1 spezielle Raumlufthqualität

RAL2 hohe Raumlufthqualität

RAL3 mittlere Raumlufthqualität

RAL4 niedrige Raumlufthqualität

Wie auch in der ÖNORM H6039 wird die Raumlufthqualität auch hier nach der CO₂-Konzentration klassifiziert. Zusätzlich unterteilt die ÖNORM EN 13779 allerdings auch noch nach der empfundenen Raumlufthqualität in decipol. Es wird allerdings in der Norm darauf hingewiesen, dass das Verfahren die Raumlufth nach der empfundenen Raumlufthqualität zu beurteilen, noch nicht etabliert und zudem in der Praxis schwer umzusetzen ist (da wie unter Kapitel 1.2.2 auf Seite 5 beschrieben, Messgeräte für die Erhebung des decipol-Werts noch fehlen).

Tabelle 1.6: Klassierung der Raumlufthqualität (siehe ÖNORM EN 13779, S. 14)

Kategorie	CO ₂ üblich	CO ₂ Standard	decipol üblich	decipol Standard
RAL 1	max. 400 ppm	350 ppm	1,0	0,8
RAL 2	400-600 ppm	500 ppm	1,0-1,4	1,2
RAL 3	600-1000 ppm	800 ppm	1,4-2,5	2,0
RAL 4	über 1000 ppm	1200 ppm	2,5	3,0

In der Praxis hat sich jedoch die indirekte Klassifizierung durch den Außenluftvolumenstrom pro Person bewährt, da im Vorhinein die Einteilung nach der CO₂-Konzentration bzw. nach der empfundenen Raumlufthqualität schwierig ist. Daher werden in Tabelle 11 der ÖNORM EN 13779 genaue Werte für die Außenluftvolumenströme pro Person definiert:

Tabelle 1.7: Außenluftvolumenstrom je Person (vgl. ÖNORM EN 13779, S. 15)

Kategorie	üblicher Bereich	Standardwert
RAL 1	mehr als 54 m ³ /h	72 m ³ /h
RAL 2	36-54 m ³ /h	45 m ³ /h
RAL 3	22-36 m ³ /h	29 m ³ /h
RAL 4	weniger als 22 m ³ /h	18 m ³ /h

Die hier aufgeführten Werte gelten nur für den Nichtraucherbereich, da ich in dieser Arbeit nur auf die Belüftung von Schulklassen eingehe. Es wird von einer CO₂-Konzentration in der Außenluft von 350 ppm ausgegangen.

Die Aufstellung der maximal zulässigen Schalldruckpegel in der ÖNORM EN 13779 ist im Vergleich zur ÖNORM H6039 wesentlich umfangreicher. Es wird allerdings nicht so sehr ins Detail gegangen wie in anderen Normen.

1.3.4 ÖISS-Richtlinien

Zu guter Letzt möchte ich nun noch auf die für die Auslegung maßgeblichen ÖISS-Richtlinien eingehen. Das ÖISS ist das österreichische Institut für Schul- und Sportstättenbau welches verschiedene Richtlinien zum Thema Schulbau herausgibt. Diese Richtlinien werden von den zuständigen Landesschulräten als Forderungskatalog für den Bau von Schulen verstanden. Bezüglich der Auslegung der Lüftung wird hier vor allem auf folgende Normen verwiesen:

- ÖNORM H 6000-3: 30 m³/h und Person (entspricht leichter manueller Arbeit im

Sitzen mit einer Gesamtwärmeabgabe von 120 W)

- VORNORM DIN V 18599-10: 30 m³/h und Person
- ÖNORM EN 13779: 22-36 m³/h und Person (entspricht RAL 3)

In dieser Richtlinie wird für die CO₂-Belastung in Innenräumen von Schulen 1.500 ppm als Richtwert vorgegeben. Laut den Untersuchungen der ÖISS lässt sich der lt. Pettenkofer anzustrebende Wert von 1000 ppm nur schwer erreichen. Die Folgen sind Einbußen des Nutzerkomforts (durch z.B. Zugerscheinungen) und erhöhte laufende Kosten. Aus diesem Grund werden von dieser Richtlinie Frischluftraten von 15 m³/h für bis zu 10-jährige und von 20 m³/h für über 10-jährige als Anhaltswerte für die Dimensionierung vorgeschrieben¹¹.

Zusätzlich werden in dieser Richtlinie Anforderungen an den Elektroenergiebedarf der Lüftungsgeräte gestellt. Diese Anforderungen sind derzeit relativ schwer zu erreichen, da bei einer dezentralen Lösung max. 0,4 W/m³, bei einer zentralen Lüftungsanlage höchstens 0,6 W/m³ aufgewendet werden dürfen.

Die Vorgaben der ÖNORM EN 13799 werden in Bezug auf den Dauerschallpegel nochmals verschärft. Vielmehr entsprechen die in der ÖISS-Richtlinie definierten Werte den Vorgaben der ÖNORM H6039. So dürfen in normalen Klassenräumen Dauerschallpegel von 35 dB(A) in der Nähe des Auslasses nicht überschritten werden. In akustisch sensiblen Räumen wie z.B. Musikunterrichtsräumen darf der Dauerschallpegel zu keinem Zeitpunkt mehr als 30 dB(A) betragen¹².

¹¹ vgl. ÖISS-Richtlinie Kapitel 4, S. 4

¹² vgl. ÖISS-Richtlinie Kapitel 8, S. 7

2 CO₂ als Regelungsparameter

Wie bereits in Kapitel 1 auf Seite 1 beschrieben, wird die Raumlufthqualität in der Einheit Decipol angegeben, jedoch lässt sich dieser Wert nicht für eine Regelungsanlage als Führungsgröße verwenden. Denn um einen funktionierenden geschlossenen Regelkreis zu erhalten, muss die Führungsgröße auch auswertbar sein. Da die Messung der Geruchsbelastung der Raumlufth noch nicht mit Sensoren möglich ist, musste ein Ersatz gefunden werden. Als Ersatz dient nun die Kohlendioxid-Konzentration, die zumindest den Verbrauch an frischer Luft in einem Raum durch die Personen, die sich darin aufhalten, beschreiben kann. Für die Messung werden CO₂-Sensoren in den Abluftkanal eingebaut und die Drehzahl der Ventilatoren im Lüftungsgerät werden nach dieser Führungsgröße geregelt.

Doch wie sieht der Verlauf der Kohlenstoffdioxid-Konzentration in einem Klassenzimmer aus? Nach welcher Zeit werden die von Pettenkofer definierten Grenzwerte überschritten? All dies wird nun im Folgenden an Hand eines in Excel selbst erstellten Berechnungsblattes geklärt bzw. dessen Grundlagen vermittelt.

Für die Berechnung der Kohlendioxid-Konzentration in einem Raum sind unterschiedliche Einflussgrößen von Belang. Diese wären zum Beispiel:

- CO₂-Ausstoß im Raum
- CO₂-Konzentration in der Außenluft
- Raumkubatur
- Luftwechsel

Auf diese Faktoren werde ich im Folgenden noch genauer eingehen.

2.1 CO₂-Ausstoß im Raum

Wie bereits unter Kapitel 1.2 auf Seite 1 beschrieben, stößt ein Mensch bei der Atmung wesentlich mehr Kohlendioxid aus, als sich in der Raumlufth befindet. Beim Einatmen enthält frische Luft ungefähr 400 ppm Kohlendioxid. Beim Ausatmen enthält die Luft den ca. 100-fachen Anteil an CO₂, also knapp 4% oder 40.000 ppm. Dies ist bei jedem Menschen ziemlich gleich. Nur die tatsächlich ausgeatmete Menge an Kohlendioxid ist stark abhängig vom Lungenvolumen (und damit von Alter und Größe) und der Aktivität der Person. Genaue Angaben hierzu sind der Tabelle 2.1 auf der nächsten Seite zu entnehmen.

Zusätzlich muss hier auch noch die Anzahl der Personen im Raum berücksichtigt werden. So ergibt sich zum Beispiel für eine Klasse mit 15 Schülern in einem Alter von 10 Jahren sowie einer Lehrperson ein Kohlenstoffdioxid-Ausstoß von 613 l/h. Um für ein behagliches Raumklima zu sorgen müssen diese Emissionen „weggelüftet“ werden.

Tabelle 2.1: Typische CO₂-Abgaberraten in l/h pro Person (siehe Handbuch zum Programm QUIRL/CO₂, S. 7)

Alter in Jahren	<1	1-3	4-6	7-9	10-14	>14
Ruhe	2,3	4,8	9,7	14	20	22
leichte Aktivität	4,8	9,7	20	28	38	43
mäßige Aktivität	9,7	20	38	58	77	85
intensive Aktivität	17	33	67	102	135	152

2.2 CO₂-Konzentration in der Außenluft

Bei der mechanischen Be- und Entlüftung eines Raums, wird prinzipiell die verbrauchte, mit CO₂ angereicherte Luft durch frische Luft von außen ersetzt.

Die Konzentration des Kohlendioxids in der Außenluft ist, regional gesehen, stark unterschiedlich. So kann zum Beispiel in Innenstädten oder neben stark befahrenen Straßen, die CO₂-Konzentration Werte bis zu 600 ppm erreichen. Möglich wird das durch die hohe Dichte an CO₂-Emittenten, wie Verkehr, Energiegewinnung und Heizung, die im innerstädtischen Bereich vorhanden sind. Im Gegensatz dazu, kann im ländlichen Bereich von Maximalwerten von 400 ppm ausgegangen werden.

In Zukunft muss davon ausgegangen werden, dass die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre immer weiter steigen wird. Lag der Anteil von Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre am Beginn der Industrialisierung noch bei ungefähr 280ppm so stieg er in der Zwischenzeit auf die oben beschriebenen Werte. Der Anstieg betrug in den 60er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts noch in etwa 0,6 ppm pro Jahr. Dieser Anstieg hat sich beschleunigt, so dass nun mit einer Erhöhung von ca. 2,0 ppm pro Jahr zu rechnen ist. Aufgrund dessen wird für das Jahr 2016 die Überschreitung von 400 ppm Durchschnitts-CO₂-Konzentration weltweit erwartet¹³. Diesbezüglich wird es eine Neubewertung der normativen Werte geben müssen.

2.3 Raumkubatur und Luftwechsel

Schlussendlich wird die Geschwindigkeit des Anstiegs der CO₂-Konzentration in einem Raum durch die Belegung und vor allem die Größe des Raums bestimmt. In einem kleinen Raum, wie zum Beispiel eine Besenkammer mit einer Kubatur von 3m³ und

¹³ siehe Artikel NOAA Research (National Oceanic and Atmospheric Administration) vom 31. Mai 2012

einer Person im Raum, steigt die CO₂-Konzentration wesentlich rascher als in einem Vorlesungssaal mit einer Kubatur von 3000m³ und hundert Personen im Saal. Grund hierfür ist, dass jeder einzelnen Person im Vorlesungssaal das zehnfache Raumvolumen zur Verfügung steht, als der einzelnen Person in der Besenkammer.

Der zweite Einflussfaktor auf den Anstieg ist der Luftwechsel. Wird in einem gleich großen Raum, mit ähnlicher Belegung, in einem vergleichbaren Zeitraum, ein höherer Luftwechsel erzielt, so steigt die CO₂-Konzentration wesentlich langsamer. Grund hierfür ist, dass die schlechte Luft in einem Raum bei einem höheren Luftwechsel stärker verdünnt wird, als bei einem niedrigen Luftwechsel.

2.4 Berechnung der CO₂-Konzentration

Für die Berechnung der CO₂-Konzentration ist es notwendig, dass alle oben genannten Einflussfaktoren bekannt sind. Die Berechnung selbst erfolgt dann über eine Schadstoffbilanz. Hier wird davon ausgegangen, dass ein Luftvolumenstrom mit einer gewissen Schadstoffkonzentration in den Raum eingebracht, im Raum mit zusätzlichen Schadstoffen (in unserem Fall Kohlendioxid) belastet und aus dem Raum wieder abgesaugt wird (siehe Bild 2.1). Die Bilanz kann folgendermaßen aufgestellt werden (siehe Formel 2.1¹⁴):

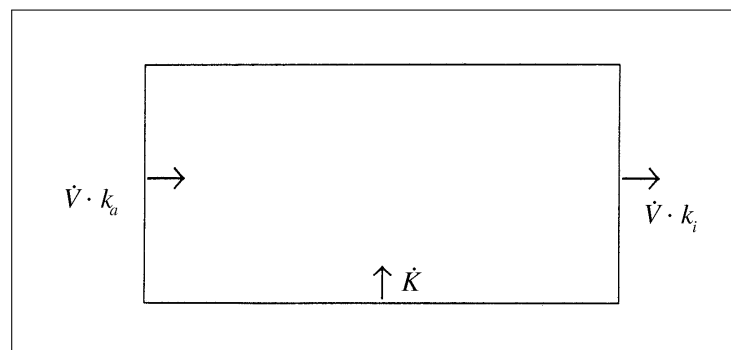


Abbildung 2.1: Schadstoffbilanz eines zu lüftenden Raums (siehe Recknagel S. 154, Bild 1.2.4-1)

$$\dot{K} + \dot{V} \cdot k_a = \dot{V} \cdot k_i \quad (2.1)$$

\dot{K} ... Schadstoffanfall

\dot{V} ... Luftvolumenstrom

k_a ... Schadstoffkonzentration in der Außenluft

k_i ... Schadstoffkonzentration in der Raumluft

¹⁴ siehe Recknagel, S. 154

Durch umformen kann aus der Bilanz der notwendige Außenluftvolumenstrom berechnet werden, um eine gewisse CO₂-Konzentration im Raum einhalten zu können. Dazu wird die Bilanz auf folgende Form umgeformt (siehe Formel 2.2¹⁵):

$$\dot{V} = \frac{\dot{K}}{k_i - k_a} \quad (2.2)$$

Mit den Formeln 2.1 auf der vorherigen Seite und 2.2 kann lediglich ein stationärer Zustand berechnet werden. Um den Verlauf der CO₂-Konzentration über einen gewissen Zeitraum berechnen zu können, muss der Zeitfaktor noch berücksichtigt werden. Somit ergibt sich folgende Formel (siehe Formel 2.3¹⁶):

$$\dot{V} * k_a * d\tau + \dot{V}_{SS} * d\tau - \dot{V} * k_i * d\tau = V_R * d_{CR} \quad (2.3)$$

$\dot{V}_{L,AU} * k_a * d\tau$... im Außenluftvolumenstrom enthaltener Schadstoff

$\dot{V}_{L,AB} * k_i * d\tau$... im Abluftvolumenstrom enthaltener Schadstoff

$\dot{V}_{SS} * d\tau$... im Raum emittierter Schadstoff

$V_R * d_{CR}$... im Raum gespeicherter Schadstoff

Mit der Vereinfachung $\dot{V}_{L,AU} \approx \dot{V}_{L,AB}$ und $k_{R0} = k_a$ (Anfangskonzentration im Raum entspricht der Konzentration in der Außenluft) sowie einigen Umformungen der Bilanz folgt (siehe Formel 2.4¹⁷):

$$k_R = k_a + \frac{\dot{V}_{SS}}{\lambda_{AU} * V_R} (1 - e^{-\lambda_{AU} * \Delta\tau}) \quad (2.4)$$

k_R ... Schadstoffkonzentration im Raum [ppm]

k_a ... Schadstoffkonzentration in der Außenluft [ppm]

\dot{V}_{SS} ... im Raum emittierter Schadstoff im [m³/h]

λ_{AU} ... stündlicher Luftwechsel [h⁻¹]

V_R ... Raumkubatur [m³]

$\Delta\tau$... betrachteter Zeitraum [h]

2.5 Erläuterungen zu den berechneten Beispielen

Die Berechnung wurde mit einem eigens erstellten Excel-Tabellenblatt durchgeführt. Für alle drei berechneten Varianten haben die selben Voraussetzungen gegolten. Einziger Unterschied war, dass für den ersten Fall ein Außenluft-Volumenstrom mit 600m³

¹⁵ siehe Recknagel, S. 154

¹⁶ vgl. Handbuch der Klimatechnik - Band 2, S.87 - Formel 5-19

¹⁷ vgl. Handbuch der Klimatechnik - Band 2, S.89 - Formel 5-23

(siehe Anhang A.1 bis A.2 auf den Seiten 47–48) angesetzt wurde, während im zweiten Fall, der Volumenstrom mit 300m³ (siehe Anhang A.3 bis A.4 auf den Seiten 49–50) gewählt wurde. In der dritten Variante (siehe Anhang A.5 bis A.6 auf den Seiten 51–52) wird die CO₂-Konzentration in einem Klassenzimmer ohne Lüftungsanlage, nur mit Fensterlüftung während der Pausen, berechnet. Zu Beginn des Unterrichts soll im Raum die gleiche CO₂-Konzentration wie im Freien vorliegen.

Für die Berechnung wurde weiters davon ausgegangen, dass in einem Klassenzimmer mit einer Raumfläche von 70m² und einer Raumhöhe von 3 Metern 24 Oberstufenschüler inklusive einer Lehrperson sitzen. Die Schule befindet sich zwar in städtischer Lage, aber die CO₂-Konzentration in der Außenluft wurde mit durchschnittlich 450 ppm angenommen.

2.6 Interpretation der Ergebnisse der Berechnungen

In beiden Berechnungsfällen kann der von Max von Pettenkofer definierte Sollwert für die Raumluft von einer CO₂-Konzentration nicht eingehalten werden. Wird der Raum mit einem Außenluftvolumenstrom von 600 m³/h beaufschlagt (siehe Anhang A.1 bis A.2 auf den Seiten 47–48), so wird dieser Grenzwert nach ca. 20 Minuten erreicht. Findet in dem Raum dann für 60 Minuten keine Veränderung an der Belegung oder an dem Volumenstrom statt, so steigt die CO₂-Konzentration auf in etwa 1.320 ppm. Der Standardwert von RAL3 lt. ÖNORM EN 13779 wird nur knapp überschritten. Der in den ÖISS-Richtlinien definierte Grenzwert von 1.500 ppm Kohlenstoffdioxid kann eingehalten werden.

Wird der Volumenstrom halbiert (auf 300 m³/h - siehe Anhang A.3 bis A.4 auf den Seiten 49–50), so wird die Pettenkofer-Zahl von 1000 ppm bereits nach 15 Minuten überschritten und innerhalb einer Stunde kann die CO₂-Konzentration bis 1.850 ppm im Raum ansteigen. Dieser Wert sprengt bereits die von der Norm definierte RAL-Skala. Auch die Vorgabe der ÖISS-Richtlinie kann nicht eingehalten werden.

Geht man davon aus, dass nur während der Pausen das Klassenzimmer stoßgelüftet und während der Unterrichtszeiten nicht gelüftet wird (das bedeutet, dass sich kein nennenswerter Luftaustausch einstellt - siehe Anhang A.5 bis A.6 auf den Seiten 51–52), so ist das für die Raumluftqualität noch schlechter. Unter diesen Voraussetzungen ist zu Beginn der Stunde der Raum mit frischer Außenluft gefüllt. Es wird sich dadurch eine CO₂-Konzentration im Raum von 450 ppm einstellen. Wird nun die Klasse mit der oben genannten Belegung von 24 Schülern und einer Lehrperson beaufschlagt, beginnt sich die Raumluftqualität zu verschlechtern. Aus dem Verlauf des Graphen in Abbildung A.6 auf Seite 52 lässt sich erkennen, dass nach 25 Minuten der Grenzwert der ÖISS-Richtlinie überschritten wird. Die Pettenkoferzahl wird bereits nach etwa 13 Minuten überschritten. Am Ende einer Schulstunde mit einer Dauer von 50 Minuten,

wird ein nicht mehr akzeptabler Wert von über 2.600 ppm Kohlenstoffdioxid erreicht.

Die zuvor beschriebenen Beispiele sollen eines verdeutlichen: Die passende Auslegung der Außenluft-Volumenströme ist unabdingbar, um in einem Raum eine ausreichend gute Raumlufthqualität realisieren zu können. Der gewählte Außenluftvolumenstrom bestimmt in erster Linie die Geschwindigkeit mit der die CO₂-Konzentration im betrachteten Raum ansteigt. Weiters wird vom Außenluftvolumenstrom der Grenzwert des maximal erreichbaren Kohlenstoffdioxids bestimmt.

Vor allem macht eine Reduktion der Luftmengen eines Lüftungsgeräts, oft geschieht dies aus finanziellen Gründen, aus Sicht der erzielten Raumlufthqualität keinen Sinn. Hier ist zu beachten, dass durch eine Reduktion der Luftmengen auf die Hälfte, die Anschaffungs- und Betriebskosten sich keineswegs auf die Hälfte reduzieren, sondern wesentlich höher liegen.

Ein kompletter Verzicht auf ein Lüftungsgerät zur Belüftung der Klassenräume hat zur Folge, dass die gesamte Lüftung des Raums mittels Fensterlüftung bewerkstelligt werden muss. Bei Stoßlüftung lässt sich, je nach Anordnung der Fenster und Lage des Gebäudes, ein fünf- bis fünfzehnfacher Luftwechsel erzielen¹⁸. Um damit zu erreichen, dass die Luft in einem Klassenzimmer zweimal pro Stunde ausgetauscht wird, müssten die Fenster pro Stunde 8 bis 24 Minuten komplett geöffnet sein. Speziell während der kalten Jahreszeit ist dies nur schwer vorstellbar und auch den Lehrpersonen und Schülern nur schwer vermittelbar. Weiters wird während die Fenster geöffnet sind, sprichwörtlich „zum Fenster raus geheizt“.

¹⁸ siehe Recknagel S. 1295

3 Vergleich der Lüftungskonzepte anhand von zwei konkreten Projekten

Sollen mehrere Räume eines Gebäudes mechanisch be- und entlüftet werden, so muss in der Projektierungsphase die wichtige Entscheidung bezüglich der Art der Lüftungsanlage getroffen werden. Hierfür müssen die wichtigsten Betriebs- und Nutzungsparameter, als auch die Architektur des Gebäudes bereits bekannt sein. Erst nachdem diese Parameter bekannt sind, kann entschieden werden, ob

- eine zentrale Lüftungsanlage oder
- mehrere dezentrale Lüftungsanlagen errichtet werden.

Welche Folgen diese Entscheidung hat, werde ich im weiteren Verlauf anhand zweier konkreter Beispiele behandeln.

3.1 Zentrale Lüftungsanlage

Versorgt ein Lüftungsgerät mehrere Räume mit aufbereiteter, sprich gefilterter und vorgewärmter Luft, wird darunter eine zentrale Lüftungsanlage verstanden. Gleichzeitig wird die gesammelte Abluft aus allen Räumen wieder über das Lüftungsgerät geführt. Die in der Abluft enthaltenen Wärmeenergie wird über eine Wärmerückgewinnungseinheit teilweise an die angesaugte kalte Außenluft übertragen und bleibt nicht ungenutzt. Zusätzlich kann die in den Klassenzimmern erzeugte Abwärme (durch die Schüler und der Beleuchtung) ebenfalls zum Teil zurück gewonnen werden. Sollte die Temperatur der Zuluft noch zu niedrig sein, so wird diese mittels eines Nachheizregisters auf die gewünschte Temperatur gebracht.

Als konkretes Beispiel möchte ich auf die, in der Volksschule¹⁹ Bad Hofgastein von mir geplante und derzeit in der Realisierung befindlichen Lüftungsanlage eingehen. Ursprünglich war hier eine Lösung vorgesehen, bei der im Nachhinein in den einzelnen Klassen dezentrale Lüftungsgeräte nachgerüstet werden. Während der Realisierung wurde allerdings auf eine zentrale Lüftungsanlage umgeschwenkt.

Die hier verwendete Lüftungsanlage versorgt zwölf Schulklassen mit jeweils 500 m³/h gefilterter und aufbereiteter Zuluft. Das Lüftungszentralgerät wurde dafür auf dem Dach der Schule aufgestellt. Dafür war es notwendig, eine wetterfeste Ausführung des Lüftungsgeräts zu wählen. Zusätzlich wurden die notwendigen Schalldämpfer in der Außenluft, der Zuluft sowie in die Abluft und die Fortluft in das Lüftungsgerät integriert. Die Außenluft wird über ein direkt am Lüftungsgerät angebrachtes Wetterschutzgit-

¹⁹ wird in Deutschland mit Grundschule bezeichnet

ter angesaugt. Im Lüftungsgerät wird die Außenluft gefiltert und über einen Rotationswärmetauscher vorgewärmt. Der Vorteil des Rotationstauschers ist, dass er neben dem Großteil der Wärme (Rückwärmezahl 73%) auch einen beachtlichen Anteil der in der Abluft enthaltenen Feuchtigkeit (Rückfeuchtezahl 73%) an die Zuluft überträgt. Die Feuchterückgewinnung ist vor allem in den kalten Wintermonaten mit der sehr trockenen Luft von Bedeutung. Nach der Wärmerückgewinnung ist im Lüftungsgerät der über einem Keilriemen angetriebene Ventilator positioniert, der den notwendigen Luftvolumenstrom erzeugt und den im gesamten Kanalsystem entstandenen Druckverlust überwindet. Nach dem Ventilator ist noch das Nachheizregister positioniert, das die Zuluft auf die gewünschte Temperatur erwärmt. Zu guter Letzt ist noch eine zusätzliche Filterstufe vorhanden, die verhindert, dass etwaiger Abrieb vom Keilriemen in das Kanalsystem gelangt. Die weitere Kanalführung erfolgt dann in der Zwischendecke des obersten Geschoßes. Die Zuluft wird in den Klassen über einen großflächigen Quellaftauslass eingebracht. Der Quellaftauslass bietet dabei den Vorteil, dass die Geschwindigkeit aufgrund der großen Fläche beim Austritt sehr gering ist und dadurch keine Zugerscheinungen auftreten.

Die verbrauchte Luft strömt über ein schallgedämpftes Kanalsystem in den Pausenbereich über. Von dort wird die Abluft zentral abgesaugt und direkt in das Lüftungsgerät geführt. Im Gerät wird die Luft gefiltert, über den Rotationswärmetauscher geführt und schlussendlich über ein, in das Lüftungsgerät integriertes, Wetterschutzgitter ausgeblasen.

3.1.1 Regelungsstrategie

Da es sich bei der auf der vorherigen Seite beschriebenen Lüftungsanlage um eine Volksschule handelt, unterscheiden sich die Unterrichtszeiten zwischen den einzelnen Klassen wenig bis gar nicht. Zumeist beginnt für alle Schüler der Unterricht um 7:45 Uhr und endet um 12:15 Uhr, manchmal auch erst eine Stunde später. Vor diesem Hintergrund und aufgrund des Wunsches des Bauherrn, die Anlage möglichst kostengünstig zu errichten, wurde davon abgesehen, alle Klassen mit motorbetriebenen Absperrklappen auszurüsten. Dadurch kann der Volumenstrom in den einzelnen Klassen nicht gedrosselt bzw. ganz abgedreht werden. Aufgrund dessen wurde das Lüftungsgerät lediglich mit einem einstufigen Motor ausgestattet. Von einer Steuerung des Lüftungsgeräts nach der CO₂-Konzentration wurde aufgrund des regeltechnischen „Overkills“ sowie der erhöhten Herstellkosten verzichtet.

Die Anlage wird über ein einfaches Zeitprogramm betrieben. Die Lüftungsanlage wird eine halbe Stunde vor Unterrichtsbeginn eingeschaltet und eine halbe Stunde nach dem Unterrichtsende der letzten Klasse wieder deaktiviert. Als Schaltstufen stehen nur EIN und AUS zur Verfügung.

3.1.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der zentralen Lüftungsanlage

In die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer Lüftungsanlage müssen alle Kosten, die durch die Errichtung und den Betrieb der Anlage entstehen, erhoben bzw. geschätzt werden. Diese Einsparungen, die durch den Betrieb der Lüftungsanlage lukriert werden können, müssen mit diesen Kosten gegenüber gestellt werden.

Herstellkosten der Lüftungsanlage

Die Herstellkosten können anhand der beispielhaften Anlage in der Volksschule von Bad Hofgastein relativ genau erhoben werden, da hierfür ein Angebot der ausführenden Firma vorliegt. In der Tabelle 3.1 auf der nächsten Seite sind die Positionspreise, also die Summe aus Materialpreis und Lohnanteil aufgelistet. Multipliziert mit der benötigten Anzahl der jeweiligen Anlagenkomponenten ergibt sich eine Gesamtsumme von 82.370 Euro. Dieser Betrag wird benötigt, um den reinen Lüftungstechnischen Anteil der Anlage herzustellen. Zu beachten ist, dass:

- die bauseitigen Kosten für die Herstellung einer geeigneten Konstruktion um das Lüftungsgerät auf dem Dach der Schule aufstellen zu können sowie Mehraufwendungen bei den Arbeiten des Dachdeckers betragen etwa 7.600 Euro. Dabei berücksichtigt ist auch die Herstellung einer geeigneten Plattform für die Wartung und deren Zugang.
- die Kosten, die durch den benötigten elektrischen Anschluss entstehen, ebenfalls nicht berücksichtigt wurden.
- durch die verringerte Heizlast sämtliche Heizflächen kleiner ausgeführt werden könnten. Dies bringt mit sich, dass auch die gesamte Verrohrung im Gebäude neu berechnet werden sowie der Wärmeerzeuger neu ausgelegt werden müsste. Die Einsparungen die sich hier ergeben, wurden nicht berücksichtigt.

Da in der gesamten Schule bereits Lüftungsanlagen installiert waren, musste die bestehende Heizungsanlage nur leicht angepasst werden. Dadurch entstehen Kosten von in etwa 4.500,00 Euro.

Gleiches gilt für die Gebäudeleittechnik; auch hier sind lediglich Anpassungsarbeiten notwendig, die sich mit Kosten in der Höhe von ca. 15.000 Euro niederschlagen.

Betriebskosten durch Beheizung und den Betrieb des Lüftungsgeräts

Die Heizlast (bei Verwendung einer Lüftungsanlage) aller zwölf Klassen liegt in Summe bei 21.000 Watt. Dieser Wert wurde mit Hilfe eines Computerprogramms nach ÖNORM EN 12831²⁰ mit dem österreichischen Anhang ÖNORM H 7500²¹ berechnet.

²⁰ siehe ÖNORM EN 12831

²¹ siehe ÖNORM H 7500

Tabelle 3.1: Herstellkosten einer zentralen Lüftungsanlage

Gegenstände	Anzahl	Positionspreis	Gesamtpreis
Lüftungsgerät inkl. Zubehör	1,00 Stk.	36.560,80 EUR	36.580,80 EUR
flex. Schalldämpfer DN200	12,00 Stk.	82,30 EUR	987,60 EUR
flex. Schalldämpfer DN250	30,00 Stk.	97,80 EUR	2.934,00 EUR
Lüftungskanal verz. Blech	95,00 m ²	28,80 EUR	2.736,00 EUR
Formstücke verz. Blech	115,00 m ²	34,30 EUR	3.994,00 EUR
Wickelfalzrohr DN200	50,00 m	15,30 EUR	765,00 EUR
Wickelfalzrohr DN250	75,00 m	17,50 EUR	1.312,50 EUR
WFZ Bogen DN200	30,00 Stk.	17,00 EUR	510,00 EUR
WFZ Bogen DN250	35,00 Stk.	19,50 EUR	682,50 EUR
WFZ T-Stück DN200	12,00 Stk.	16,60 EUR	199,20 EUR
WFZ T-Stück DN250	12,00 Stk.	35,70 EUR	428,70 EUR
WFZ Reduktion DN250	6,00 Stk.	19,40 EUR	116,40 EUR
flex. Alu-Rohr DN250	20,00 m	15,50 EUR	310,00 EUR
Drosselklappe DN200	12,00 Stk.	41,60 EUR	499,20 EUR
Zuluft-Gitter 425x325	12,00 Stk.	160,60 EUR	1.927,20 EUR
Abluft-Gitter 425x325	12,00 Stk.	160,60 EUR	1.927,20 EUR
Abluft-Gitter 625x325	3,00 Stk.	203,90 EUR	611,70 EUR
wetterfeste Wärmedämmung Lüftungskanal	50,00 m ²	87,00 EUR	4.350,00 EUR
Heizungstechnik - geschätzte Pauschale			4.500,00 EUR
Regelungstechnik - geschätzte Pauschale			15.000,00 EUR
bauseitige Leistungen - Pauschale			7.600,00 EUR
Summe:			87.972,00 EUR

Dieser Wert kann jedoch nicht einfach für die Berechnung des Heizenergieverbrauchs verwendet werden. Grund hierfür ist, dass der Berechnung eine Norm-Außentemperatur hinterlegt ist, die jedoch nur selten erreicht wird. Im Fall von Bad Hofgastein liegt diese Norm-Außentemperatur bei -16°C . Realistisch sind im Winter jedoch Durchschnittstemperaturen von in etwa -3°C . Um die zu erwartenden Transmissionsverluste bei „Nicht-Normbedingung“ zu errechnen, wird folgende Formel verwendet:

$$\dot{Q}_T = U * A * \Delta t \quad (3.1)$$

Damit kann der Transmissionsverlust zu jeder beliebigen Außentemperatur berechnet werden, da der Ausdruck $U * A^{22}$ für alle Bedingungen konstant ist. Lediglich der Wert Δt ist veränderlich und beschreibt die Differenz zwischen der Raumtemperatur und der Temperatur der Außenluft. Es wird davon ausgegangen, dass in den Monaten Mai bis September die Heizung deaktiviert ist. In Tabelle 3.2 auf dieser Seite wurde von den durchschnittlichen Außentemperaturen der nahegelegenen Gemeinde Badgastein²³ ausgegangen.

Tabelle 3.2: Transmissionsverluste der Klassen Volksschule Badhofgastein

Monat	t_i	t_a	\dot{Q}	Tage	Stunden	Energieverbrauch
lt. Norm	22°C	$-16,0^{\circ}\text{C}$	12.903 W			
Januar	22°C	$-3,2^{\circ}\text{C}$	8.557 W	31	24	6.366 kWh
Februar	22°C	$-2,1^{\circ}\text{C}$	8.183 W	28	24	5.499 kWh
März	22°C	$1,5^{\circ}\text{C}$	6.961 W	31	24	5.179 kWh
April	22°C	$4,7^{\circ}\text{C}$	5.874 W	30	24	4.229 kWh
Mai	22°C	$9,8^{\circ}\text{C}$	-	31	24	-
Juni	22°C	$12,4^{\circ}\text{C}$	-	30	24	-
Juli	22°C	$14,4^{\circ}\text{C}$	-	31	24	-
August	22°C	$14,1^{\circ}\text{C}$	-	31	24	-
September	22°C	$10,6^{\circ}\text{C}$	-	30	24	-
Oktober	22°C	$6,4^{\circ}\text{C}$	5.297 W	31	24	3.941 kWh
November	22°C	$0,7^{\circ}\text{C}$	7.232 W	30	24	5.207 kWh
Dezember	22°C	$-2,5^{\circ}\text{C}$	8.319 W	31	24	6.189 kWh
Summe						36.611 kWh

Analog zu der Berechnung der Transmissionsverluste können die Lüftungsverluste berechnet werden, denn auch diese werden bei der Heizlastberechnung lediglich bei Norm-Bedingungen berechnet. Um die zu erwartenden Lüftungsverluste bei „Nicht-Normbedingung“ zu errechnen, wird folgende Formel verwendet:

$$\dot{Q}_{L,mech} = \dot{m}_{Luft} * c_{Luft} * \Delta t \quad (3.2)$$

²² Wärmedurchgangskoeffizient der umschließenden Flächen, multipliziert mit der Fläche der umschließenden Flächen

²³ siehe Klimadaten von ZAMG für Badgastein

Damit kann der Lüftungsverlust zu jeder beliebigen Außentemperatur berechnet werden, da der Ausdruck $\dot{m} * c_{Luft}$ für alle Bedingungen annähernd konstant ist. Lediglich der Wert Δt ist veränderlich und beschreibt die Temperaturdifferenz zwischen Raum und der Außenluft. Es wird davon ausgegangen, dass in den Monaten Mai bis September die Heizung deaktiviert ist. In Tabelle 3.3 wurde von den durchschnittlichen Außentemperaturen der nahegelegenen Gemeinde Badgastein²⁴ ausgegangen. Die Anzahl der Schultage wurde anhand des Schuljahrs 2010/2011 erhoben und wird in anderen Schuljahren nur unwesentlich abweichen. Der Schulbetrieb findet in dieser Schule immer von ca. 7:30 bis 13:30 Uhr statt, daher kommt man auf einen Schultag von sechs Stunden.

Tabelle 3.3: Lüftungsverluste mit mech. Lüftung Volksschule Badhofgastein

Monat	t_i	t_a	\dot{Q}	Tage	Stunden	Energieverbrauch
lt. Norm	22 °C	-16,0 °C	8.105 W			
Januar	22 °C	-3,2 °C	5.375 W	17	6	548 kWh
Februar	22 °C	-2,1 °C	5.140 W	15	6	463 kWh
März	22 °C	1,5 °C	4.372 W	23	6	603 kWh
April	22 °C	4,7 °C	3.690 W	14	6	310 kWh
Mai	22 °C	9,8 °C	-	23	6	-
Juni	22 °C	12,4 °C	-	17	6	-
Juli	22 °C	14,4 °C	-	6	6	-
August	22 °C	14,1 °C	-	0	-	-
September	22 °C	10,6 °C	-	0	-	-
Oktober	22 °C	6,4 °C	3.327 W	20	6	399 kWh
November	22 °C	0,7 °C	4.543 W	22	6	600 kWh
Dezember	22 °C	-2,5 °C	5.226 W	17	6	533 kWh
Summe				174		3.456 kWh

Um die Betriebskosten während des Schulbetriebs berechnen zu können, muss erst noch der Energieverbrauch des Lüftungsgeräts mit samt dessen Einbauten berechnet werden. Die Lüftungsanlage benötigt elektrische Antriebsenergie für die Ventilatoren und den Rotationstauscher. Eine Aufstellung mit den geschätzten Energieverbräuchen auf Basis der Angaben des Herstellers ist in Tabelle 3.4 auf der nächsten Seite zu sehen.

Durch die Wärmerückgewinnung innerhalb des Lüftungsgeräts kann der Großteil der in der Abluft enthaltenen Wärme an die Zuluft übertragen werden. Um eine angenehme Zulufttemperatur zu erreichen, muss im Nachheizregister die Zuluft erwärmt werden. Die dafür notwendige Energie ist wiederum abhängig von der Außenlufttemperatur und wurde in Tabelle 3.5 auf der nächsten Seite berechnet. Grundlage dafür sind die bereits unter Kapitel 3.1 auf Seite 21 beschriebenen Daten des Lüftungsgeräts von einem

²⁴ siehe Klimadaten Klimadaten von Badgastein

Tabelle 3.4: Elektrische Antriebsenergie Volksschule Badhofgastein

Gerät	Leistung	Tage / Jahr	Stunden	Energieverbrauch
Ventilator Zuluft	2,00 kW	174	6	2.088 kWh
Ventilator Abluft	1,70 kW	174	6	1.775 kWh
Rotationstauscher	0,04 kW	174	6	42 kWh
Summe	3,74 kW			3.905 kWh

Volumenstrom von 6000m³/h und einer Rückwärmezahl von 73%.

Tabelle 3.5: Energieverbrauch Nachheizregister Volksschule Badhofgastein

Monat	t _i	t _a	\dot{Q}	Tage	Stunden	Energieverbrauch
Januar	22 °C	-3,2 °C	9.800 W	17	6	1.000 kWh
Februar	22 °C	-2,1 °C	9.164 W	15	6	827 kWh
März	22 °C	1,5 °C	7.211 W	23	6	995 kWh
April	22 °C	4,7 °C	5.449 W	14	6	458 kWh
Mai	22 °C	9,8 °C	-	23	6	-
Juni	22 °C	12,4 °C	-	17	6	-
Juli	22 °C	14,4 °C	-	6	6	-
August	22 °C	14,1 °C	-	0	-	-
September	22 °C	10,6 °C	-	0	-	-
Oktober	22 °C	6,4 °C	4.512 W	20	6	541 kWh
November	22 °C	0,7 °C	7.652 W	22	6	1.010 kWh
Dezember	22 °C	-2,5 °C	9.415 W	17	6	960 kWh
Summe				174		5.792 kWh

Anhand der nun vorliegenden Daten über den Energieverbrauch (siehe Tabellen 3.2 bis 3.5 auf den Seiten 25–27) kann eine erste Aufstellung der zu erwartenden jährlichen Kosten erstellt werden. Dafür ist es notwendig, dass die Preise der Energieformen bekannt sind. Um die Kosten vergleichbar mit anderen Varianten zu machen, werden die Energiekosten folgendermaßen angenommen:

5 ct/kWh Kilowattstunden-Preis für Fernwärme

7 ct/kWh Kilowattstunden-Preis für Elektroenergie

Des weiteren müssen in dieser Kostenschätzung die zu erwartenden Wartungskosten (inklusive dem Tausch von Filtern, Keilriemen und sonstigen Kleinteilen) berücksichtigt werden, die eine ungefähre Höhe von 900 Euro haben werden. Aus Tabelle 3.6 auf der nächsten Seite geht hervor, dass die geschätzten jährlichen Betriebskosten bei etwas mehr als 3.500 Euro jährlich liegen. Dabei ist zu beachten, dass dies die Betriebskosten für alle zwölf Klassenzimmer sind, inklusive der Kosten für die Abdeckung der Heizlast

in diesen Räumen.

Tabelle 3.6: Betriebskosten zentrale Lüftungsanlage Volksschule Badhofgastein

	Energieverbr.	Energietr.	Energiepreis	Gesamtpreis
Transmissionsverluste	36.610 kWh	Fernwärme	5 ct/kWh	1.830 EUR
Lüftungsverluste	3.460 kWh	Fernwärme	5 ct/kWh	173 EUR
Elektr. Antriebsenergie	3.910 kWh	Strom	7 ct/kWh	273 EUR
Nachheizregister	5.790 kWh	Fernwärme	5 ct/kWh	290 EUR
Wartungskosten				900 EUR
Summe	47.670 kWh			3.466 EUR

Betriebskosten ohne Lüftungsgerät

Die Heizlast (ohne der Verwendung einer Lüftungsanlage) aller zwölf Klassen liegt während der Unterrichtszeiten in Summe bei 63 kW und liegt damit um 200% über der Heizlast bei Verwendung eines Lüftungsgeräts. Die Heizlast wurde auch hier mit Hilfe eines Computerprogramms nach ÖNORM EN 12831²⁵ mit dem österreichischen Anhang ÖNORM H 7500²⁶ berechnet.

Da sich die Transmissionsverluste zur Variante mit Lüftungsgerät nicht verändern, müssen lediglich die Lüftungsverluste (aufgrund der natürlichen Belüftung durch Fensterlüftung) berechnet werden. In der Heizlastberechnung werden auch diese nur bei Normbedingungen berechnet und liegen bei 50.241 Watt. Um die zu erwartenden Lüftungsverluste bei „Nicht-Normbedingung“ zu errechnen, wird folgende Formel verwendet:

$$\dot{Q}_{L,nat} = \dot{m}_{Luft} * c_{Luft} * \Delta t \quad (3.3)$$

Damit kann der Lüftungsverlust zu jeder beliebigen Außentemperatur berechnet werden, da der Ausdruck $\dot{m}_{Luft} * c_{Luft}$ für alle Bedingungen konstant ist. Bei der natürlichen Lüftung wird davon ausgegangen, dass sich bei Fensterlüftung ein zweifacher Luftwechsel in der Klasse einstellt. Lediglich der Wert Δt ist veränderlich und beschreibt die Temperaturdifferenz zwischen der Raumtemperatur und der Außenluft. Alle anderen Bedingung bleiben, wie unter Kapitel 3.1.2 auf Seite 25 beschrieben, gleich. Eine Abschätzung des Lüftungswärmeverluste (siehe Tabelle 3.7 auf der nächsten Seite) ergibt einen Energieverbrauch von 21.424 kWh pro Jahr. Dies gilt allerdings nur für den zweifachen Luftwechsel. Durch den Einsatz einer Klassenraumlüftung wird allerdings ein dreifacher Luftwechsel (+50%) im Raum erzielt. Um die beiden Varianten vergleichbar zu machen, muss der Energieverbrauch ebenfalls um 50% erhöht werden. Dadurch ergibt sich ein Energieverbrauch von 32.136 kWh.

²⁵ siehe ÖNORM EN 12831

²⁶ siehe ÖNORM H 7500

Tabelle 3.7: Lüftungsverluste mit natürlicher Lüftung Volksschule Badhofgastein

Monat	t_i	t_a	\dot{Q}	Tage	Stunden	Energieverbrauch
lt. Norm	22 °C	-16,0 °C	50.241 W			
Januar	22 °C	-3,2 °C	33.318 W	17	6	3.398 kWh
Februar	22 °C	-2,1 °C	31.863 W	15	6	2.868 kWh
März	22 °C	1,5 °C	27.104 W	23	6	3.740 kWh
April	22 °C	4,7 °C	22.873 W	14	6	1.921 kWh
Mai	22 °C	9,8 °C	-	23	6	-
Juni	22 °C	12,4 °C	-	17	6	-
Juli	22 °C	14,4 °C	-	6	6	-
August	22 °C	14,1 °C	-	0	-	-
September	22 °C	10,6 °C	-	0	-	-
Oktober	22 °C	6,4 °C	20.625 W	20	6	2.475 kWh
November	22 °C	0,7 °C	28.161 W	22	6	3.717 kWh
Dezember	22 °C	-2,5 °C	32.392 W	17	6	3.304 kWh
Summe						21.424 kWh

Um die Betriebskosten der nunmehr reinen Beheizung des Raums berechnen zu können, werden wiederum die unter Kapitel 3.1.2 auf Seite 27 gewählten Energiepreise angesetzt. Aus Tabelle 3.8 ist nun ersichtlich, dass die jährlichen Betriebskosten bei natürlicher Belüftung der Klassenzimmer über die Fenster in einer Höhe von ca. 3.440 Euro liegen. Damit sind die Betriebskosten für Beheizung und Belüftung aller Klassen der Volksschule Bad Hofgastein bei reiner Fensterlüftung gleich hoch, wie bei der Verwendung eines Lüftungsgeräts.

Tabelle 3.8: Betriebskosten natürliche Lüftung Volksschule Badhofgastein

	Energieverbr.	Energietr.	Energiepreis	Gesamtpreis
Transmissionsverluste	36.611 kWh	Fernwärme	5 ct/kWh	1.830 EUR
Lüftungsverluste	32.136 kWh	Fernwärme	5 ct/kWh	1.610 EUR
Summe	58.035 kWh			3.440 EUR

3.1.3 Vor- und Nachteile von zentralen Lüftungsanlagen

Durch die Konzentration auf ein zentrales Lüftungsgerät können einige Vorteile genutzt werden. Zum Beispiel ist die elektro- und regelungstechnische Einbindung nur für ein Lüftungsgerät notwendig. Im Gegenzug ist dafür ein höherer Aufwand notwendig, um die einzelnen Klassen unabhängig von einander regeln zu können. So sind zum Beispiel mehrere Klappensteuerungen notwendig. Weiters muss lediglich ein Lüftungsgerät gewartet werden. So müssen zum Beispiel nur die Filterkassetten und die Keilriemen zum

Antrieb der Ventilatoren eines Lüftungsgeräts getauscht werden. Ebenso müssen nur die Komponenten eines Lüftungsgeräts gereinigt und instand gehalten werden. Dafür ist die Reinigung des Kanalsystems, aufgrund dessen Größe, wesentlich schwieriger und auch kostenintensiver.

Nachteilig ist, dass ein Zentrallüftungsgerät immer einen gewissen Platzbedarf hat, der zum Teil dem Architekten bzw. dem Bauherrn nur schwer vermittelbar ist. Zusätzlich bringt die Entscheidung für eine zentrale Lüftungsanlage immer einen gewissen erhöhten Planungsaufwand mit sich. Begonnen von den räumlichen Voraussetzungen, über das Lüftungskanalnetz und dessen Platzbedarf, bis über die Planung der Regelungstechnik, die nur mehr in seltenen Fällen mit einer Kompaktregelanlage realisiert werden kann. Des weiteren darf der erhöhte materielle Aufwand für die Lüftungskanalisation nicht vernachlässigt werden, da die Anbindungsleitungen zu den einzelnen zu versorgenden Räumen relativ lang sein können. Weiters können stark unterschiedliche Betriebszeiten der Lüftung in den einzelnen Räumen nur mit erhöhtem Aufwand realisiert werden.

Für den Fall einer Störung am Lüftungsgerät, werden alle Klassenzimmer nicht mehr mit Frischluft versorgt werden.

3.2 Dezentrale Lüftungsanlagen

Versorgt ein Lüftungsgerät lediglich einen Raum mit aufbereiteter Luft und werden mehrere Lüftungsgeräte benötigt um alle Räume zu versorgen, wird darunter eine dezentrale Lüftungsanlage verstanden. Die Abluft aus dem Raum wird wieder über das Lüftungsgerät geführt. Die Wärmeenergie, die in der Abluft enthalten ist, wird über eine Wärmerückgewinnungseinheit an die angesaugte kalte Außenluft übertragen und geht daher nur teilweise verloren. Sollte die Temperatur der Zuluft noch zu niedrig sein, so wird die Zuluft mittels eines Nachheizregisters auf die gewünschte Temperatur erwärmt.

Als konkretes Beispiel möchte ich auf die, von mir geplante und bereits realisierte Lüftungsanlage in der HTBLA²⁷ Salzburg, eingehen. In Summe wurden hier 26 neue Klassen mit einer Klassenraumlüftung ausgestattet und in vier weiteren Klassenräumen wurde eine Lüftung nachgerüstet. Die hier verwendeten Wohnraumlüftungsgeräte versorgen jeweils eine Klasse mit je 620 m³/h gefilterter und aufbereiteter Zuluft. Die Lüftungsgeräte werden dabei in bauseits geschaffenen Nischen aufgehängt und mit Paneelen verkleidet. Innerhalb der Nischen wurden bereits alle notwendigen Komponenten, wie z.B. Absperrklappen, Schalldämpfer und Nachheizregister gesetzt.

Die Außenluft wird auf dem Dach über einen Ansaugbogen angesaugt. Bei sehr niedrigen Temperaturen wird ein elektrisches Vorheizregister aktiviert, das die Außenluft auf -5 Grad Celsius vorwärmt. Damit wird vermieden, dass die Wärmerückgewinnungseinheit einfriert und dadurch Schaden nimmt. In der Betrachtung der Betriebskosten wird dies nicht berücksichtigt, da dieses Vorheizregister aus verschiedenen Gründen (die-

²⁷ Höhere Technische Bundeslehranstalt

se tiefen Temperaturen treten hauptsächlich außerhalb der Unterrichtszeit auf) nur sehr selten aktiviert wird. Im Lüftungsgerät wird die Außenluft gefiltert und über einen Plattenwärmetauscher (Rückwärmezahl 85%) vorgewärmt. Nach der Wärmerückgewinnung ist im Lüftungsgerät der Ventilator positioniert, der den notwendigen Luftvolumenstrom erzeugt und den im gesamten Kanalsystem entstandenen Druckverlust überwindet. Nach dem Ventilator ist das Nachheizregister positioniert, das die Zuluft, sofern notwendig, auf die gewünschte Temperatur erwärmt. Die Zuluft wird in den Klassen über ein Lüftungsgitter im Tafelbereich eingebracht.

Die verbrauchte Luft wird über ein Lüftungsgitter, das in der Nische des Lüftungsgeräts positioniert ist, abgesaugt. Im Gerät wird die Abluft gefiltert, über den Wärmetauscher geführt und schlussendlich auf dem Dach über einen Deflektor ausgeblasen.

3.2.1 Regelungsstrategie

Bei der auf der vorherigen Seite beschriebenen dezentralen Lüftungsanlage handelt es sich um eine Lüftungsanlage in einer Oberstufenschule. Dadurch ergeben sich unterschiedlichste Unterrichtszeiten. Teilweise kann es sogar zum Unterricht in den frühen Nachtstunden kommen. Dies ist einer der Gründe dafür, dass eine dezentrale Lösung gewählt wurde, da sich hier die Versorgung der einzelnen Räume mit frischer Luft wesentlich einfacher gestaltet, als mit einer zentralen Lösung. Vor dem Hintergrund, dass in dieser Schule eine ausgefeilte Gebäudeleittechnik installiert wurde, konnte ein großer regelungstechnischer Aufwand betrieben werden, um für alle möglichen Fälle ein optimales Betriebsverhalten zu schaffen. Im Grunde wurden in jeder Klasse folgende Komponenten installiert:

- **Kombinierter Licht- und Anwesenheitssensor:** Dieser Sensor wird dazu verwendet, um durch die Anwesenheit von Menschen die mechanische Belüftung zu starten und weiters um die Beleuchtung bei Anwesenheit auf einen zuvor festgelegten Wert zu regeln.
- **Fenstersensoren,** die beim Öffnen eines Fensters die vorgehängte transparente Fassade öffnen und gleichzeitig die Lüftung deaktivieren. Zusätzlich wird die Heizung deaktiviert.
- Mehrere Möglichkeiten zum manuellen Eingriff in die Regelungsanlage wie z.B.:
 - Lichttaster
 - Bedientableau, dass nur per Schlüsselschalter (vom Lehrpersonal) aktiviert werden kann. Damit können verschiedene Szenarien gewählt werden, wie Beamervortrag, normaler Unterricht, volle Beleuchtung, usw. Weiters kann das Lüftungsgerät vorübergehend deaktiviert werden.

Grundsätzlich werden die Lüftungsanlagen über ein zentral hinterlegtes Zeitprogramm frei gegeben, aber erst durch Ansprechen des Anwesenheitssensors aktiviert. Deakti-

viert wird die Lüftung erst einige Zeit nachdem die letzte Person die Klasse verlassen hat, um sicher zu stellen, dass für die nächsten Personen, die die Klasse betreten, eine angenehme Raumlufte vorhanden ist. Bevor morgens der Schulunterricht beginnt, wird in allen Klassen die Lüftungsanlage für eine halbe Stunde aktiviert, damit bereits für die erste Schulstunde ein angenehmes Milieu herrscht.

3.2.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Lüftungsanlage sind alle Kosten, die durch Errichtung und Betrieb einer Anlage entstehen, zu erheben. Gleichzeitig müssen diese Kosten mit den Aufwendungen verglichen werden, die ohne Errichtung dieser Anlagen entstünden.

Herstellkosten

Die Anschaffungskosten können relativ genau erhoben werden, da dieses Bauvorhaben bereits ausgeführt wurde. Anhand der Preise der Firma, die den Auftrag erhalten hat, werde ich die Herstellungskosten für die Lüftungsanlage einer Klasse erheben. Weiters wurden vom Architekten die Kosten der bauseitigen Leistungen mit 5.500 Euro beziffert. In Summe betragen Herstellungskosten somit lt. Tabelle 3.9 in etwa 11.400 Euro.

Tabelle 3.9: Herstellkosten einer dezentralen Lüftungsanlage

Gegenstände	Anzahl	Positionspreis	Gesamtpreis
Lüftungsgerät	1,00 Stk.	4.561,41 EUR	4.561,41 EUR
Heizregister + Zubehör	1,00 Stk.	720,44 EUR	720,44 EUR
Schalldämpfer	4,00 Stk.	114,29 EUR	457,16 EUR
Rückschlagklappen	2,00 Stk.	50,30 EUR	100,60 EUR
Deflektor	1,00 Stk.	149,63 EUR	149,63 EUR
ZUL-Gitter	1,00 Stk.	92,88 EUR	92,88 EUR
ABL-Gitter	1,00 Stk.	66,62 EUR	66,62 EUR
WFZ-Rohr Ø250	6,70 m	20,80 EUR	139,36 EUR
WFZ-Bogen Ø250	3,00 Stk.	15,42 EUR	46,26 EUR
WFZ-Abzweig Ø250	1,00 Stk.	18,17 EUR	18,17 EUR
WFZ-Enddeckel Ø250	1,00 Stk.	5,71 EUR	5,71 EUR
Blech Lüftungskanal	6,05 m ²	34,16 EUR	206,67 EUR
Blech Formstücke	63,30 m ²	43,26 EUR	2.738,36 EUR
Dämmung Mineralwolle	44,73 m ²	13,07 EUR	584,62 EUR
Dämmung Armaflex	31,59 m ²	48,07 EUR	1.518,53 EUR
bauseitige Leistungen - Pauschal			5.500,00 EUR
Summe:			16.906,42 EUR

Betriebskosten durch Beheizung und den Betrieb des Lüftungsgeräts

Die Heizlast (bei Verwendung einer Lüftungsanlage) einer Klassen liegt bei 2.449 Watt (während der Betriebsstunden). Die Berechnung wurde wie unter Kapitel 3.1.2 auf Seite 23 bereits beschrieben, durchgeführt. In Tabelle 3.10 wurde von den durchschnittlichen Außentemperaturen für Salzburg laut ZAMG²⁸ ausgegangen, wobei die Norm-Außentemperatur in Salzburg bei -15 °C liegt. Der Energieaufwand zur Abdeckung der Transmissionsverluste liegt nach Tabelle 3.10 bei etwa 3.200 kWh im Verlauf eines Jahres.

Tabelle 3.10: Transmissionsverluste HTBLA Salzburg

Monat	t_i	t_a	\dot{Q}	Tage	Stunden	Energieverbrauch
lt. Norm	20 °C	-15,0 °C	1.358 W			
Januar	20 °C	-0,8 °C	807 W	31	24	600 kWh
Februar	20 °C	0,7 °C	749 W	28	24	503 kWh
März	20 °C	4,8 °C	590 W	31	24	439 kWh
April	20 °C	8,5 °C	446 W	30	24	321 kWh
Mai	20 °C	13,8 °C	-	31	24	-
Juni	20 °C	16,5 °C	-	30	24	-
Juli	20 °C	18,6 °C	-	31	24	-
August	20 °C	18,3 °C	-	31	24	-
September	20 °C	14,3 °C	-	30	24	-
Oktober	20 °C	9,3 °C	415 W	31	24	309 kWh
November	20 °C	3,6 °C	636 W	30	24	458 kWh
Dezember	20 °C	0,4 °C	761 W	31	24	566 kWh
Summe						3.197 kWh

Analog zu der Berechnung der Transmissionsverluste können die Lüftungsverluste berechnet werden, denn auch diese werden bei der Heizlastberechnung lediglich bei Norm-Bedingungen berechnet. Wie dies konkret durchgeführt wird, wurde bereits unter Kapitel 3.1.2 behandelt. Hier liegt der Energieaufwand lt. Tabelle 3.11 auf der nächsten Seite bei ca. 640 kWh jährlich. In dieser und allen weiteren Berechnung wird davon ausgegangen, dass, egal ob mechanische oder natürliche Lüftung, diese nur für zehn Stunden pro Tag aktiv ist.

Um die Betriebskosten berechnen zu können, muss erst noch der Energieverbrauch des Lüftungsgeräts mit samt dessen Einbauten berechnet werden. Die vorgestellten Lüftungsanlagen benötigen elektrische Antriebsenergie nur für die Ventilatoren. Eine Aufstellung mit den geschätzten Energieverbräuchen ist in Tabelle 3.12 auf der nächsten Seite zu sehen.

²⁸ siehe Klimadaten von ZAMG für Salzburg

Tabelle 3.11: Lüftungsverluste mit mech. Lüftung HTBLA Salzburg

Monat	t_i	t_a	\dot{Q}	Tage	Stunden	Energieverbrauch
lt. Norm	20 °C	-15,0 °C	1.091 W			
Januar	20 °C	-0,8 °C	648 W	17	10	110 kWh
Februar	20 °C	0,7 °C	602 W	15	10	90 kWh
März	20 °C	4,8 °C	474 W	23	10	109 kWh
April	20 °C	8,5 °C	359 W	14	10	50 kWh
Mai	20 °C	13,8 °C	-	23	10	-
Juni	20 °C	16,5 °C	-	17	10	-
Juli	20 °C	18,6 °C	-	6	10	-
August	20 °C	18,3 °C	-	0	-	-
September	20 °C	14,3 °C	-	0	-	-
Oktober	20 °C	9,3 °C	334 W	20	10	67 kWh
November	20 °C	3,6 °C	511 W	22	10	112 kWh
Dezember	20 °C	0,4 °C	611 W	17	10	104 kWh
Summe						643 kWh

Tabelle 3.12: Elektrische Antriebsenergie HTBLA Salzburg

Gerät	Leistung	Tage / Jahr	Stunden	Energieverbrauch
Lüftungsgerät	0,600 kW	174	10	1.044 kWh
Summe	0,600 kW			1.044 kWh

Durch die Wärmerückgewinnung innerhalb des Lüftungsgeräts kann der Großteil, der in der Abluft enthaltenen Wärme, an die Zuluft übertragen werden. Um die gewünschte Zulufttemperatur zu erreichen, muss im Nachheizregister die Zuluft noch weiter erwärmt werden. Die dafür notwendige Energie ist wiederum abhängig von der Außenlufttemperatur und wurde in Tabelle 3.13 berechnet. Grundlage dafür waren die bereits unter Kapitel 3.2 auf Seite 30 beschriebenen Daten des Lüftungsgeräts mit einem Volumenstrom von $620\text{m}^3/\text{h}$ und einer Rückwärmezahl von 85%.

Tabelle 3.13: Energieverbrauch Nachheizregister HTBLA Itzling

Monat	t_i	t_a	\dot{Q}	Tage	Stunden	Energieverbrauch
Januar	20 °C	-0,8 °C	658 W	17	10	67 kWh
Februar	20 °C	-0,7 °C	610 W	15	10	55 kWh
März	20 °C	4,8 °C	481 W	23	10	66 kWh
April	20 °C	8,5 °C	364 W	14	10	31 kWh
Mai	20 °C	13,8 °C	-	23	10	-
Juni	20 °C	16,5 °C	-	17	10	-
Juli	20 °C	18,6 °C	-	6	10	-
August	20 °C	18,3 °C	-	0	-	-
September	20 °C	14,3 °C	-	0	-	-
Oktober	20 °C	9,3 °C	338 W	20	10	41 kWh
November	20 °C	3,6 °C	519 W	22	10	68 kWh
Dezember	20 °C	0,4 °C	620 W	17	10	63 kWh
Summe						391 kWh

Anhand der nun vorliegenden Daten über den Energieverbrauch (siehe Tabellen 3.10 bis 3.13 auf den Seiten 33–35) kann eine erste Aufstellung der zu erwartenden jährlichen Kosten erstellt werden. Dafür ist es notwendig, dass die Preise der Energieformen bekannt sind. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wird von den unter Kapitel 3.1.2 auf Seite 27 angenommenen Energiepreisen ausgegangen. Des weiteren müssen in dieser Kostenschätzung die erwarteten Wartungskosten (inklusive dem Tausch von Filtern und sonstigen Kleinteilen) berücksichtigt werden, die eine ungefähre Höhe von 150 Euro pro Jahr und Gerät haben werden. Aus Tabelle 3.14 auf der nächsten Seite geht hervor, dass die geschätzten jährlichen Betriebskosten bei 435 Euro liegen. Allerdings ist zu beachten, dass dies die Betriebskosten für lediglich ein Klassenzimmer inklusive der Kosten für die Abdeckung der Heizlast sind.

Betriebskosten ohne Lüftungsgerät

Wird kein Lüftungsgerät in der Klasse verwendet, so liegt die Heizlast aufgrund der erhöhten Lüftungsverluste bei 6.630 Watt und damit mehr als das Doppelte über der Heizlast bei Verwendung eines Lüftungsgeräts.

Tabelle 3.14: Betriebskosten dezentrale Lüftungsanlage HTBLA Salzburg

	Energieverbr.	Energietr.	Energiepreis	Gesamtpreis
Transmissionsverluste	3.197 kWh	Fernwärme	5 ct/kWh	160 EUR
Lüftungsverluste	643 kWh	Fernwärme	5 ct/kWh	32 EUR
Elektr. Antriebsenergie	1.044 kWh	Strom	7 ct/kWh	73 EUR
Nachheizregister	391 kWh	Fernwärme	5 ct/kWh	20 EUR
Wartungskosten				150 EUR
Summe	5.275 kWh			435 EUR

Die Transmissionsverluste bleiben auch weiterhin unbeeinflusst, egal ob ein Lüftungsgerät verwendet wird oder nicht. Daher müssen nur die veränderten Lüftungsverluste (aufgrund des zweifachen Luftwechsels bei Fensterlüftung) berechnet werden. Dies wird wieder mit dem unter Kapitel 3.1.2 beschriebenen Verfahren durchgeführt. Diese Abschätzung ergibt einen Energieverbrauch von 3.106 kWh (siehe Tabelle 3.15) zur Abdeckung der Lüftungsverluste. Dies gilt allerdings nur für den zweifachen Luftwechsel. Durch den Einsatz einer Klassenraumlüftung wird allerdings ein dreifacher Luftwechsel (+50%) im Raum erzielt. Um die beiden Varianten vergleichbar zu machen, muss der Energieverbrauch ebenfalls um 50% erhöht werden. Dadurch ergibt sich ein Energieverbrauch von 4.660 kWh.

Tabelle 3.15: Lüftungsverluste mit natürlicher Lüftung HTBLA Salzburg

Monat	t_i	t_a	\dot{Q}	Tage	Stunden	Energieverbrauch
lt. Norm	20 °C	-15,0 °C	5.272 W			
Januar	20 °C	-0,8 °C	3.133 W	17	10	533 kWh
Februar	20 °C	0,7 °C	2.907 W	15	10	436 kWh
März	20 °C	4,8 °C	2.290 W	23	10	527 kWh
April	20 °C	8,5 °C	1.732 W	14	10	243 kWh
Mai	20 °C	13,8 °C	-	23	10	-
Juni	20 °C	16,5 °C	-	17	10	-
Juli	20 °C	18,6 °C	-	6	10	-
August	20 °C	18,3 °C	-	0	-	-
September	20 °C	14,3 °C	-	0	-	-
Oktober	20 °C	9,3 °C	1.612 W	20	10	322 kWh
November	20 °C	3,6 °C	2.470 W	22	10	543 kWh
Dezember	20 °C	0,4 °C	2.952 W	17	10	502 kWh
Summe						3.106 kWh

Die Betriebskosten für die reine Beheizung wird wiederum mit den unter Kapitel 3.1.2 auf Seite 27 festgelegten Energiepreisen durchgeführt. Aus Tabelle 3.16 auf der nächsten Seite kann abgelesen werden, dass die Beheizung einer Klasse dem Nutzer jährlich

393 Euro kostet. Somit kommt die Beheizung und Belüftung einer Klasse in der HTL Itzling bei Fensterlüftung geringfügig günstiger, als bei Verwendung eines Lüftungsgeräts. Wenngleich angemerkt werden muss, dass der Komfort mit einer Klassenraumlüftung wesentlich höher ist.

Tabelle 3.16: Betriebskosten natürliche Lüftung HTBLA Salzburg

	Energieverbr.	Energietr.	Energiepreis	Gesamtpreis
Transmissionsverluste	3.197 kWh	Fernwärme	5 ct/kWh	160 EUR
Lüftungsverluste	4.660 kWh	Fernwärme	5 ct/kWh	233 EUR
Summe	6.303 kWh			393 EUR

3.2.3 Vor- und Nachteile von dezentralen Lüftungsanlagen

Grundsätzlich kann hier beinahe davon ausgegangen werden, dass durch den deutlich unterschiedlichen schematischen Aufbau die Vorteile der dezentralen Lüftungsanlage, die Nachteile der zentralen Lüftungsanlage sind - und auch umgekehrt.

So müssen in einem größeren Bauvorhaben alle Lüftungsgeräte einzeln an Strom und die Regelungsanlage angeschlossen werden. Dafür ist der Anschluss selbst wesentlich einfacher herzustellen, da es sich bei den in der HTBLA Itzling verwendeten Lüftungsgeräten um steckerfertige Wohnraumlüftungsgeräte handelt. Dabei sind alle Regelungsfunktionen des Lüftungsgeräts bereits in der Steuerung integriert. Lediglich das Signal zum Aus- und Einschalten sowie die Betriebs- und Störmeldung müssen auf die Gebäudeleitechnik geführt werden. Des Weiteren können die Anbindungsleitungen zu den Luftdurchlässen relativ kurz gehalten werden, da das Lüftungsgerät einfach dort aufgestellt werden kann, wo es benötigt wird. Auch der Aufstellort selbst ist leichter zu finden, da diese Art von Lüftungsgerät keine eigene Lüftungszentrale benötigt. So genügt oft schon eine kleine Nische in einem Raum, die verkleidet werden kann.

Nachteilig ist, dass die Wartung kompliziert werden kann. Muss bei einem zentralen Lüftungsgerät nur an einem Gerät die Wartung und der Austausch von Verbrauchsmaterialien durchgeführt werden, so müssen diese bei mehreren dezentralen Geräten jeweils einzeln durchgeführt werden, was einen wesentlich erhöhten Aufwand darstellt und damit kostenintensiver ist.

4 Messung der CO₂-Konzentration

Nach Fertigstellung der unter Kapitel 3.2 auf Seite 30 vorgestellten Lüftungsanlage wurde über einen Zeitraum von sieben Tagen eine Messung der Kohlenstoffdioxidkonzentration durchgeführt. Die hierbei gewonnenen Ergebnisse gelten im gleichen Maß auch für Lüftungsanlagen die nach dem zentralen Konzept aufgebaut sind, sofern der gleiche Luft-Volumenstrom angelegt wird.

Der verwendete Datenlogger hat neben der CO₂-Konzentration auch die Raumtemperatur und die Luftfeuchte im Raum erfasst. Bei dem Logger (siehe technische Daten im Anhang auf Seite 53) handelt es sich um das Fabrikat Wöhler und die Type CDL 210.

4.1 Durchführung der Messung

Mit der Messung wurde am 28. Februar 2012, um 13:50 Uhr begonnen. In Summe wurde 862 Messungen in einem Abstand von jeweils 601 Sekunden durchgeführt und protokolliert. Am 5. März 2012, um 13:35 Uhr wurde die letzte Messung durchgeführt. Im Klassenzimmer hielten sich während der meisten Zeit der Messung 19 Schüler und eine Lehrperson auf. In erster Linie ist der Wert der CO₂-Konzentration von Belang. Das Messprotokoll ist im Anhang (siehe B.2 bis B.6 auf den Seiten 54–56) zu sehen.

4.2 Auswertung der Messung

Werden die Datenreihen um die Zeiten bereinigt, an denen kein Unterricht statt findet, so bleibt an den Wochentagen ein Zeitraum von 7:00 bis 18:00 Uhr zur Auswertung. Mit diesen Daten wurde die Graphen (siehe Abb. 4.1 auf der nächsten Seite) erstellt. Aus dieser Abbildung ist der zeitliche Verlauf der Kohlenstoffdioxidkonzentration ablesbar. Dabei fällt auf, dass sich die maximale CO₂-Konzentration immer in einem Bereich von 1.250 ppm, von geringfügigen Schwankungen abgesehen, bewegt. Durchschnittlich bewegt sich die Kohlenstoffdioxidkonzentration während der Unterrichtszeit am Vormittag bei ungefähr 1.100 ppm. Lediglich im Verlauf der Konzentration am Montag, dem 5. März ist auffällig, dass der Messwert für nur eine Messung auf einen Wert von 2.500 ppm steigt. Der Zeitpunkt der Messung ist um kurz nach 12 Uhr Mittag. Die einzige Erklärung für diesen Ausreißer - denn davor und danach liegt die CO₂-Konzentration bei ungefähr 900 ppm - ist, dass die Mittagspause kurz davor begonnen hat. Da das Messgerät ein Display besitzt, das den aktuellen Messwert anzeigt, gehe ich davon aus, dass die Schüler versuchten einen neuen „High-Score“ aufzustellen.

Die in den zu beachtenden und unter Kapitel 1.3 auf Seite 8 vorgestellten Grenzwerte der einschlägigen Regelwerke konnten eingehalten werden. Die erreichte Raumluftqua-

lität liegt gemäß ÖNORM EN 13779 bei RAL3 und damit auch unterhalb dem von den ÖISS-Richtlinien definierten Grenzwert von 1.500 ppm Kohlenstoffdioxid.

Zur besseren Vergleichbarkeit wird noch eine Berechnung mit den bekannten Parametern (19 Schüler und eine Lehrperson) durchgeführt (siehe Abbildungen B.7 bis B.8 auf den Seiten 57–58). Laut dieser Berechnung wird im Verlauf einer Stunde eine maximale CO₂-Konzentration von 1.119 ppm erreicht. Dieser Wert stimmt mit dem durchschnittlichen durch Messung ermittelten Wert der Kohlenstoffdioxidkonzentration auf 19 ppm überein.

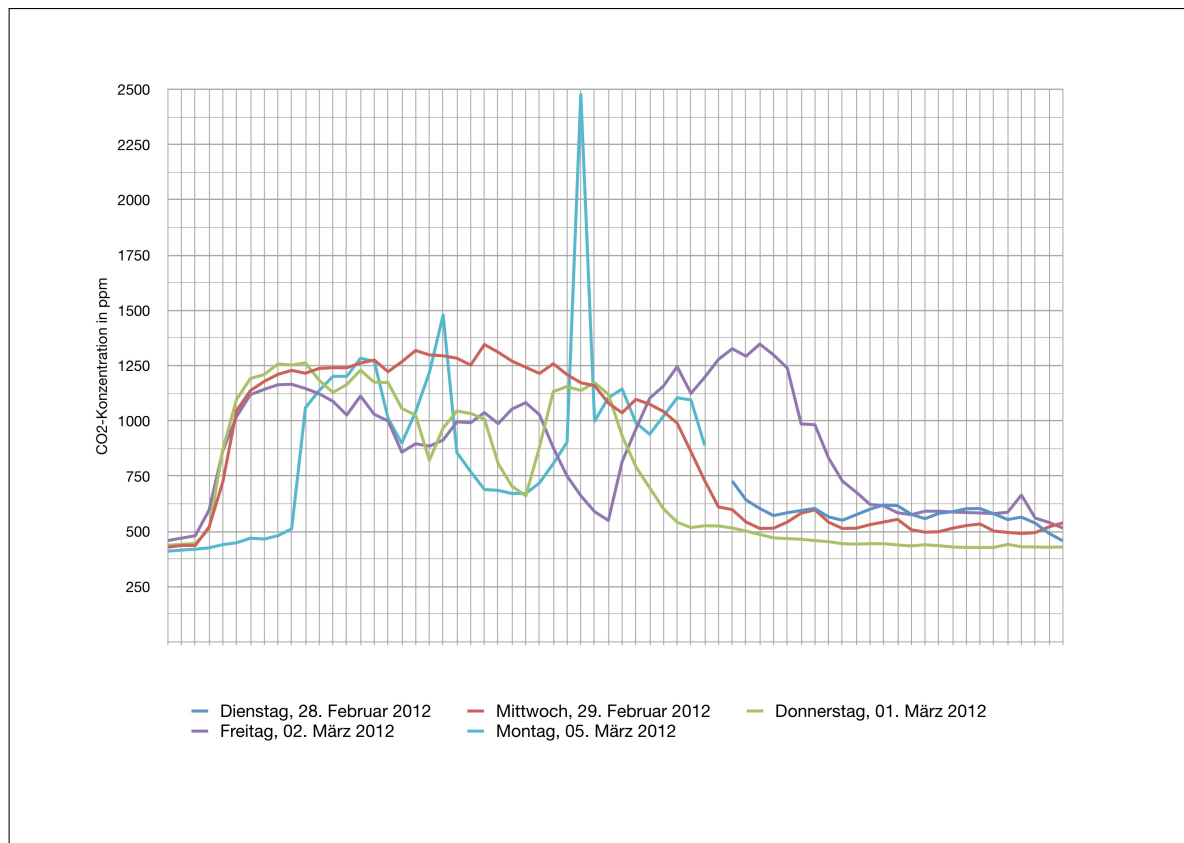


Abbildung 4.1: Gemessener Verlauf der CO₂-Konzentration

5 Schlussfolgerungen zu den vorgestellten Anlagen

Da nun beide Varianten vorgestellt wurden, kann ein abschließender Vergleich durchgeführt werden. Zuvor muss allerdings nochmals darauf hingewiesen werden, dass sich die beiden Varianten so stark unterscheiden, dass unter den meisten Voraussetzungen nur eine sinnvoll ist.

5.1 Monetärer Vergleich von einer zentralen mit einer dezentralen Lüftungsanlage

Um die beiden vorgestellten Anlagen (siehe Kapitel 3.1 auf Seite 21 und Kapitel 3.2 auf Seite 30) realistisch vergleichen zu können, müssen die Kosten, die bei Errichtung und Betrieb anfallen, erst auf vergleichbare Bedingungen angepasst werden. Vereinfacht gesagt, werden die Anschaffungskosten und die Betriebskosten für einen vergleichbaren Volumenstrom von $100\text{m}^3/\text{h}$ berechnet.

Vorerst werden die Kosten für eine zentrale Lüftungsanlage anhand der unter Tabelle 3.1 auf Seite 24 und Tabelle 3.6 auf Seite 28 ermittelten Kosten betrachtet. Aus Tabelle 5.1 ergibt sich, dass für die Anschaffung in etwa 1.470 Euro pro $100\text{m}^3/\text{h}$ anfallen, während hingegen Betriebskosten (inklusive Beheizung der Klassenzimmer) in der Höhe von ca. 58 Euro pro $100\text{m}^3/\text{h}$ entstehen.

Tabelle 5.1: Vergleichbare Kosten zentrale Lüftungsgeräte

	Absolute Kosten	\dot{V} Auslegung	\dot{V} Vergleich	vergleichbare Kosten
Herstellk.	87.972,00 EUR	$6000\text{m}^3/\text{h}$	$100\text{m}^3/\text{h}$	1.466,20 EUR
Betriebsk.	3.466,00 EUR	$6000\text{m}^3/\text{h}$	$100\text{m}^3/\text{h}$	57,77 EUR

Zum Vergleich müssen nun noch die Kosten für eine dezentrale Lüftungsanlage anhand der unter Tabelle 3.9 auf Seite 32 und Tabelle 3.14 auf Seite 36 ermittelten Kosten betrachtet werden. Aus Tabelle 5.2 auf der nächsten Seite ergibt sich, dass für die Anschaffung in etwa 2.730 Euro pro $100\text{m}^3/\text{h}$ anfallen, während hingegen jährliche Betriebskosten (inklusive Beheizung der Klassenzimmer) von ca. 70 Euro pro $100\text{m}^3/\text{h}$ entstehen.

Aus dem Vergleich lässt sich erkennen, dass in diesem Anwendungsfall die zentrale Lüftungsanlage schon in der Anschaffung wesentlich günstiger kommt. Bei den Betriebskosten kann die Variante mit dem zentralen Lüftungsgerät den Vorsprung vergrößern.

Tabelle 5.2: Vergleichbare Kosten dezentrale Lüftungsgeräte

	Absolute Kosten	\dot{V} Auslegung	\dot{V} Vergleich	vergleichbare Kosten
Herstellk.	16.900,00 EUR	620m ³ /h	100m ³ /h	2.726,84 EUR
Betriebsk.	435,00 EUR	620m ³ /h	100m ³ /h	70,16 EUR

5.2 Ergebnis des Kostenvergleichs

Vergleicht man die beiden unterschiedlichen Konzepte zur mechanischen Be- und Entlüftung von Klassenräumen anhand der vorgestellten Beispiele, so ergibt sich, dass die zentrale Lüftungsanlage in der Herstellung günstiger ist. Auch der erhöhte Bedarf an Lüftungskanälen und ein wesentlich teureres Lüftungsgerät haben hier wenig Einfluss. Werden die Kosten jedoch mit den Betriebskosten verglichen, die anfallen würden, wenn kein Lüftungsgerät verwendet wird, so kommt man zu dem Schluss, dass eine Amortisation der Anlage aufgrund der Einsparungen bei den Heizkosten nicht möglich ist. Grund hierfür sind vor allem die Wartungskosten der Lüftungsgeräte. Würde man diese vernachlässigen (wie auch in der Realität die Wartung der Lüftungsgeräte leider oft vernachlässigt wird), so wäre die Einsparung noch immer nicht groß genug, um eine Amortisationsdauer innerhalb der zu erwartenden Lebensdauer der Komponenten zu erreichen. Dies gilt zumindest beim derzeitigen Niveau der Energiepreise.

5.3 Welche Auswirkungen hat die Verwendung eines Lüftungsgeräts auf die Umwelt?

Durch die Verwendung eines Lüftungsgeräts erfolgt zum Einen eine Reduktion der Gesamt eingesetzten Energie. Zum Anderen wird teilweise Energie, die im Vergleich zur natürlichen Belüftung zur Beheizung eingespart wird, zum Antrieb der elektrischen Komponenten wieder aufgewendet wird. Was dies an Einsparungen an CO₂-Emissionen bedeutet, wird im Folgenden geklärt. Basis hierfür sind folgende Kohlenstoffdioxidemissionen:

- 132 g/kWh CO₂-Ausstoß pro eingesetzter kWh Fernwärmeenergie²⁹
- 155 g/kWh CO₂-Ausstoß pro eingesetzter kWh Elektroenergie³⁰

Anhand dieser Daten können die Gesamtemissionen bzw. die Einsparungen der einzelnen Varianten verglichen werden.

²⁹ vgl. Bericht des Umweltbundesamtes, Tabelle 3 auf S. 17

³⁰ vgl. Strompreisbroschüre, S. 27

5.3.1 Einsparungen an CO₂-Emissionen bei einer zentralen Lüftungsanlage

Um die Einsparungen an den CO₂-Emissionen berechnen zu können, wird auf die unter Kapitel 3.1 auf Seite 21 ermittelten Energieverbräuche zurück gegriffen. Mit diesen Verbräuchen und den obenstehenden Angaben zu den Kohlenstoffdioxidemissionen kann berechnet werden, dass sich bei Verwendung einer zentralen Lüftungsanlage Emissionseinsparungen von etwa 2.400 kg CO₂ erzielen lassen (siehe Tabellen 5.3 und 5.4). Dies entspricht einer zurückgelegten Strecke von 20.000 km mit einem zeitgemäßen Mittelklasse-Wagen (ca. 120 g/km CO₂-Emissionen). Bei einem Luftvolumenstrom von 6000 m³/h ergibt sich pro 100 m³/h eine Einsparung von 40,3 kg CO₂ jährlich.

Tabelle 5.3: CO₂-Emissionen zentrale Lüftungsanlage Volksschule Badhofgastein

	Energieverbr.	Energietr.	CO ₂ -Emissionen	Gesamt-emissionen
Transmissionsverl.	36.611 kWh	Fernwärme	132 g/kWh	4.833 kg
Lüftungsverluste	3.456 kWh	Fernwärme	132 g/kWh	456 kg
Elektr. Antriebsen.	3.905 kWh	Strom	155 g/kWh	605 kg
Nachheizregister	5.792 kWh	Fernwärme	132 g/kWh	765 kg
Summe	47.676 kWh			6.659 kg

Tabelle 5.4: CO₂-Emissionen natürliche Lüftung Volksschule Badhofgastein

	Energieverbr.	Energietr.	CO ₂ -Emissionen	Gesamt-emissionen
Transmissionsverl.	36.611 kWh	Fernwärme	132 g/kWh	4.833 kg
Lüftungsverluste	32.136 kWh	Fernwärme	132 g/kWh	4.242 kg
Summe	68.747 kWh			9.075 kg

5.3.2 Einsparungen an CO₂-Emissionen bei einer dezentralen Lüftungsanlage

Um die Einsparungen an den CO₂-Emissionen berechnen zu können, wird auch hier auf die unter Kapitel 3.1 auf Seite 21 ermittelten Energieverbräuche zurück gegriffen. Mit diesen Verbräuchen und den obenstehenden Angaben zu den Kohlenstoffdioxidemissionen kann berechnet werden, dass sich bei Verwendung einer zentralen Lüftungsanlage Emissionseinsparungen von 316 kg CO₂ erzielen lassen (siehe Tabellen 5.5 und 5.6). Bei einem Luftvolumenstrom von 620 m³/h ergibt sich pro 100 m³/h eine Einsparung von 51 kg CO₂ jährlich.

Tabelle 5.5: CO₂-Emissionen zentrale Lüftungsanlage HTBLA Salzburg

	Energieverbr.	Energietr.	CO ₂ -Emissionen	Gesamt-emissionen
Transmissionsverluste	3.197 kWh	Fernwärme	132 g/kWh	422 kg
Lüftungsverluste	643 kWh	Fernwärme	132 g/kWh	85 kg
Elektr. Antriebsenergie	1.044 kWh	Strom	155 g/kWh	162 kg
Nachheizregister	391 kWh	Fernwärme	132 g/kWh	52 kg
Summe	5.275 kWh			721 kg

Tabelle 5.6: CO₂-Emissionen natürliche Lüftung HTBLA Salzburg

	Energieverbr.	Energietr.	CO ₂ -Emissionen	Gesamt-emissionen
Transmissionsverluste	3.197 kWh	Fernwärme	132 g/kWh	422 kg
Lüftungsverluste	4.660 kWh	Fernwärme	132 g/kWh	615 kg
Summe	7.857 kWh			1.037 kg

Verglichen mit der unter Kapitel 5.3.1 ermittelten Einsparung der Kohlenstoffdioxid-Emissionen ergibt sich, dass die dezentrale Lüftung bei den vorgestellten Anlagen höhere Einsparungen (um ca. 27%) ermöglicht.

5.4 Welche Auswirkungen hat die Verwendung eines Lüftungsgeräts auf das Raumklima?

Verschiedene Studien³¹ haben zur Erkenntnis geführt, dass Symptome des „Sick Building Syndroms“, wie zum Beispiel Kopfschmerzen und Probleme beim klaren Denken und Konzentrationsschwierigkeiten, die direkt die Leistungsfähigkeit eines Menschen beeinträchtigen, durch eine Lüftungsanlage wesentlich reduziert werden können. So konnte zum Beispiel durch jede Verdoppelung der Luftmengen pro Person, die Produktivität um jeweils 1% gesteigert werden. Weiters konnten Kurzzeit-Krankenstände um 35% gesenkt werden bei Verdoppelung der Luftmengen von 43 auf 86 m³/h. Zusätzlich kann man davon ausgehen, dass mit einer gleichbleibend guten Raumluftqualität die Leistungsfähigkeit der Personen um durchschnittlich 4% steigt.

Rechnet man dies in eine Steigerung der Leistungsfähigkeit der Schüler um und verwendet als Grundlage das PISA-Ergebnis von 2009, so ließe sich das Ergebnis von 470 Punkten auf 489 Punkte steigern. Immer unter der Voraussetzung, dass Lüftungsgeräte in allen Klassen aller Schulen des gesamten Landes eingesetzt werden.

³¹ vgl. REHVA Indoor Climate and Productivity Guidebook, S. 18

Vor diesem Hintergrund werden, so hoffe ich, in Zukunft vermehrt Klassenräume mit Lüftungsgeräten ausgestattet. Auf jeden Fall werde ich in meiner täglichen Arbeit versuchen, die Bauherren zu überzeugen, dass ein angenehmes Milieu eine Hauptvoraussetzung für gute Lernleistungen bildet. Meiner Meinung nach, kann dieses angenehme Milieu nur mit einer Lüftungsanlage sichergestellt werden. Denn wie bereits weiter vorne in dieser Arbeit beschrieben, kann der Nutzer nicht dazu genötigt werden, die Fenster bei strengstem Frost so lange zu öffnen, bis der Raum wieder mit frischer Luft gefüllt ist. Vor allem fiel in diesem Zeitraum die Temperatur im Raum so weit ab, dass die Luft erst wieder erwärmt werden muss, bevor wieder an Unterricht zu denken ist. Aus energetischer und auch aus organisatorischer Sicht ist dies in Schulklassen undenkbar. Unabhängig von Einsparungen von CO₂-Emissionen und Errichtungs- und Betriebskosten greift die Feststellung zu kurz, dass eine Amortisation nicht möglich ist. Meiner Meinung nach soll ein Lüftungsgerät in erster Linie nicht dazu dienen, Geld zu sparen, sondern um ein behagliches Raumklima innerhalb des Klassenzimmers zu erreichen. Denn wie bereits in der Einleitung geschrieben, ist Luft der wichtigste „Betriebsstoff“ für uns Menschen. Ohne ihn können wir nicht überleben und steht er uns nicht in einer guten Qualität zur Verfügung hat dies, wie weiter oben beschrieben, teils schwerwiegende Folgen.

Anhang A: Berechnung der CO₂-Konzentration

Berechnung der CO₂-Konzentration in einem Raum

Eingabe der Personenanzahl sowie Alter und Aktivitätsgrad der Personen

		Alter der Personen					
		< 1 Jahr	1-3 Jahre	4-6 Jahre	7-9 Jahre	10-14 Jahre	> 14 Jahre
Aktivität	Ruhe						25
	leichte Aktivität						
	mäßige Aktivität						
	intensive Aktivität						

Der gesamte CO₂-Ausstoß durch die Personenbelegung im Raum beträgt: 550,0 l/h

Wo wird das Gebäude errichtet, welchen CO₂-Gehalt wird die Außenluft an diesem Ort haben?

Standort:	CO ₂ -Konzentration:
ländlicher Bereich:	350 - 450 ppm
städtischer Bereich:	450 - 550 ppm
innerstädtischer Bereich (auch neben stark befahrenen Straßen):	550 - 600 ppm

Die CO₂-Konzentration in der Außenluft beträgt: 450 ppm

Welcher Volumenstrom muss erreicht werden, um die von der ÖNORM EN 13779 definierten Raumluftqualitäten im Raum zu erzielen?

	Standardwert CO ₂	benötigter Luft-Volumenstrom:
RAL1 - spezielle Raumluftqualität	800 ppm	1571 m ³ /h
RAL2 - hohe Raumluftqualität	950 ppm	1100 m ³ /h
RAL3 - mittlere Raumluftqualität	1250 ppm	688 m ³ /h
RAL4 - niedrige Raumluftqualität	1650 ppm	458 m ³ /h

Der gewählte Volumenstrom beträgt: 600 m³/h

Die Geometrie des Raums muss für die Berechnung der CO₂-Konzentration bekannt sein.

Länge des Raums: 10,00 m
 Breite des Raums: 7,00 m
 Höhe des Raums: 3,00 m

Die Raumkubatur beträgt: 210,00 m³

Zusammenfassung der bekannten und errechneten Daten:

Anzahl der Personen:	25 Pers.	gewählter Luftvolumenstrom:	600 m ³ /h
Raumkubatur:	210,00 m ³	erreichter Luftwechsel im Raum:	2,9 1/h
Betrachtungszeitraum:	60 min		

Berechnung CO₂-Konzentration1
Beispiel 600m3

Ing. Sebastian Hochreiter
27.01.2012

Abbildung A.1: Berechnung CO₂-Konzentration bei 600m³/h - Seite 1

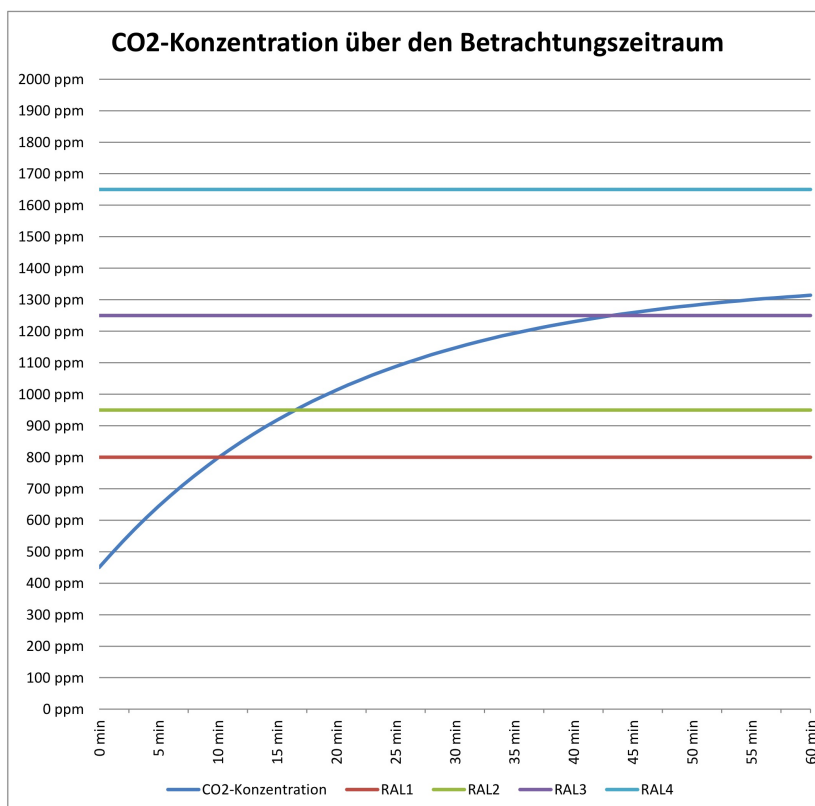
Die maximale CO₂-Konzentration im Raum während des Betrachtungszeitraums beträgt:

$$\underline{\underline{cr = 1314 \text{ ppm}}}$$

Die absolut maximale CO₂-Konzentration im Raum beträgt:

$$\underline{\underline{cr_{max} = 1367 \text{ ppm}}}$$

Dabei nimmt die CO₂-Konzentration folgenden Verlauf:



ZU BEACHTEN:

Dieser Verlauf kann nicht die Realität abbilden, da Ereignisse, wie z.B. ein kurz geöffnetes Fenster oder eine kurzfristig niedrigere Belegung nicht dargestellt werden können.

Abbildung A.2: Berechnung CO₂-Konzentration bei 600m³/h - Seite 2

Berechnung der CO₂-Konzentration in einem Raum

Eingabe der Personenanzahl sowie Alter und Aktivitätsgrad der Personen

		Alter der Personen					
		< 1 Jahr	1-3 Jahre	4-6 Jahre	7-9 Jahre	10-14 Jahre	> 14 Jahre
Aktivität	Ruhe						25
	leichte Aktivität						
	mäßige Aktivität						
	intensive Aktivität						

Der gesamte CO₂-Ausstoß durch die Personenbelegung im Raum beträgt: 550,0 l/hWo wird das Gebäude errichtet, welchen CO₂-Gehalt wird die Außenluft an diesem Ort haben?

Standort:	CO ₂ -Konzentration:
ländlicher Bereich:	350 - 450 ppm
städtischer Bereich:	450 - 550 ppm
innerstädtischer Bereich (auch neben stark befahrenen Straßen):	550 - 600 ppm

Die CO₂-Konzentration in der Außenluft beträgt: 450 ppm

Welcher Volumenstrom muss erreicht werden, um die von der ÖNORM EN 13779 definierten Raumluftqualitäten im Raum zu erzielen?

	Standardwert CO ₂	benötigter Luft-Volumenstrom:
RAL1 - spezielle Raumluftqualität	800 ppm	1571 m ³ /h
RAL2 - hohe Raumluftqualität	950 ppm	1100 m ³ /h
RAL3 - mittlere Raumluftqualität	1250 ppm	688 m ³ /h
RAL4 - niedrige Raumluftqualität	1650 ppm	458 m ³ /h

Der gewählte Volumenstrom beträgt: 300 m³/hDie Geometrie des Raums muss für die Berechnung der CO₂-Konzentration bekannt sein.

Länge des Raums: 10,00 m
 Breite des Raums: 7,00 m
 Höhe des Raums: 3,00 m

Die Raumkubatur beträgt: 210,00 m³

Zusammenfassung der bekannten und errechneten Daten:

Anzahl der Personen:	25 Pers.	gewählter Luftvolumenstrom:	300 m ³ /h
Raumkubatur:	210,00 m ³	erreichter Luftwechsel im Raum:	1,4 1/h
Betrachtungszeitraum:	60 min		

Abbildung A.3: Berechnung CO₂-Konzentration bei 300m³/h - Seite 1

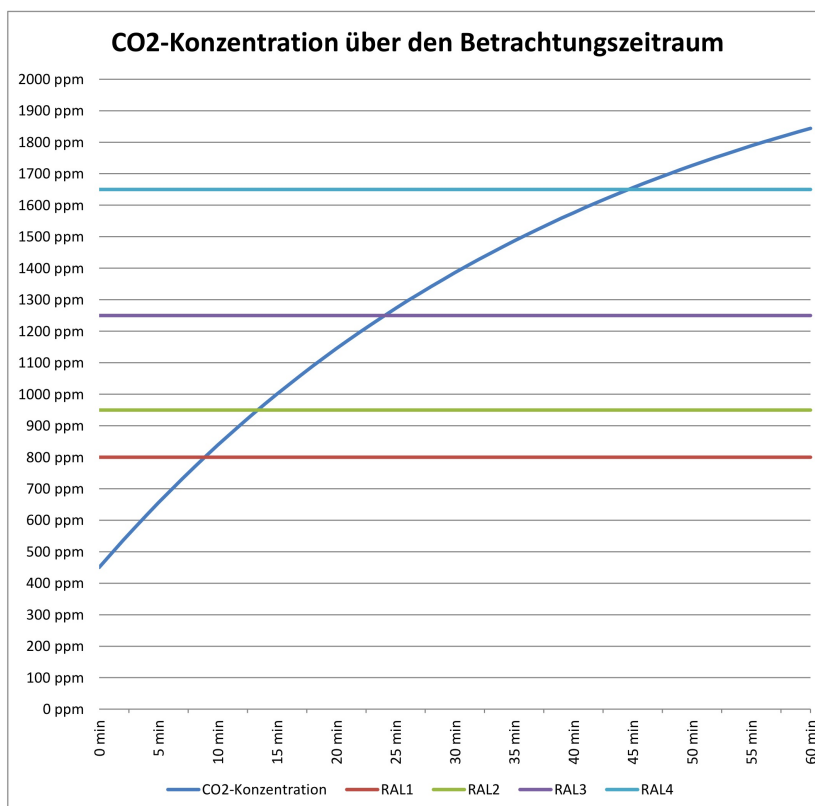
Die maximale CO₂-Konzentration im Raum während des Betrachtungszeitraums beträgt:

$$c_r = 1844 \text{ ppm}$$

Die absolut maximale CO₂-Konzentration im Raum beträgt:

$$c_{rmax} = 2283 \text{ ppm}$$

Dabei nimmt die CO₂-Konzentration folgenden Verlauf:



ZU BEACHTEN:

Dieser Verlauf kann nicht die Realität abbilden, da Ereignisse, wie z.B. ein kurz geöffnetes Fenster oder eine kurzfristig niedrigere Belegung nicht dargestellt werden können.

Abbildung A.4: Berechnung CO₂-Konzentration bei 300m³/h - Seite 2

Berechnung der CO₂-Konzentration in einem Raum

Eingabe der Personenanzahl sowie Alter und Aktivitätsgrad der Personen

		Alter der Personen					
		< 1 Jahr	1-3 Jahre	4-6 Jahre	7-9 Jahre	10-14 Jahre	> 14 Jahre
Aktivität	Ruhe						25
	leichte Aktivität						
	mäßige Aktivität						
	intensive Aktivität						

Der gesamte CO₂-Ausstoß durch die Personenbelegung im Raum beträgt: 550,0 l/h

Wo wird das Gebäude errichtet, welchen CO₂-Gehalt wird die Außenluft an diesem Ort haben?

Standort:	CO ₂ -Konzentration:
ländlicher Bereich:	350 - 450 ppm
städtischer Bereich:	450 - 550 ppm
innerstädtischer Bereich (auch neben stark befahrenen Straßen):	550 - 600 ppm

Die CO₂-Konzentration in der Außenluft beträgt: 450 ppm

Welcher Volumenstrom muss erreicht werden, um die von der ÖNORM EN 13779 definierten Raumluftheiten im Raum zu erzielen?

	Standardwert CO ₂	benötigter Luft-Volumenstrom:
RAL1 - spezielle Raumluftheit	800 ppm	1571 m ³ /h
RAL2 - hohe Raumluftheit	950 ppm	1100 m ³ /h
RAL3 - mittlere Raumluftheit	1250 ppm	688 m ³ /h
RAL4 - niedrige Raumluftheit	1650 ppm	458 m ³ /h

Der gewählte Volumenstrom beträgt: 1 m³/h

Die Geometrie des Raums muss für die Berechnung der CO₂-Konzentration bekannt sein.

Länge des Raums: 10,00 m
 Breite des Raums: 7,00 m
 Höhe des Raums: 3,00 m

Die Raumkubatur beträgt: 210,00 m³

Zusammenfassung der bekannten und errechneten Daten:

Anzahl der Personen:	25 Pers.	gewählter Luftvolumenstrom:	1 m ³ /h
Raumkubatur:	210,00 m ³	erreichter Luftwechsel im Raum:	0,0 1/h
Betrachtungszeitraum:	60 min		

Berechnung CO₂-Konzentration1.xlsx
Beispiel 1m3
Ing. Sebastian Hochreiter
04.06.2012

Abbildung A.5: Berechnung CO₂-Konzentration bei 1m³/h - Seite 1

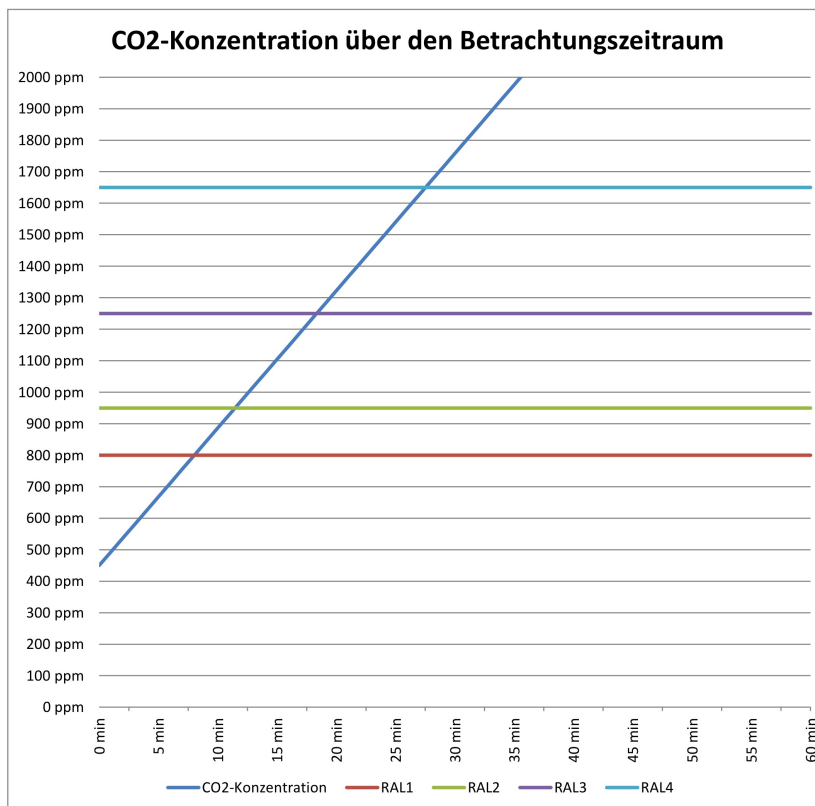
Die maximale CO₂-Konzentration im Raum während des Betrachtungszeitraums beträgt:

$$\underline{\underline{cr = 3063 \text{ ppm}}}$$

Die absolut maximale CO₂-Konzentration im Raum beträgt:

$$\underline{\underline{cr_{max} = 550450 \text{ ppm}}}$$

Dabei nimmt die CO₂-Konzentration folgenden Verlauf:



ZU BEACHTEN:

Dieser Verlauf kann nicht die Realität abbilden, da Ereignisse, wie z.B. ein kurz geöffnetes Fenster oder eine kurzfristig niedrigere Belegung nicht dargestellt werden können.

Abbildung A.6: Berechnung CO₂-Konzentration bei 1m³/h - Seite 2

Anhang B: Messung der CO₂-Konzentration

[Startseite](#) > [Produkte](#) > [Messtechnik](#) > [Temperatur, Feuchte & Luft](#) > Wöhler CDL 210 CO₂-Datenlogger

Wöhler CDL 210 CO₂-Datenlogger

Der Wöhler CDL 210 CO₂ Datenlogger unterstützt Sie bei der Beratungstätigkeit und bei der Beurteilung der Raumqualität durch eine kombinierte Messung und Bestimmung des CO₂-Gehaltes, der Lufttemperatur und der Luftfeuchte.

Das über Netzteil betriebene Gerät hilft bei der Problemfeststellung zur CO₂-Analyse und dem Monitoring von Wohnräumen (Unbehaglichkeitsanalysen, Feuchteprobleme, etc.), Besprechungs-, Aufenthaltsräumen im gewerblichen und öffentlichen Bereich (z.B. Schulen) und bei industriellen Anwendungen.



- [Geräte](#)
- [Zubehör](#)
- [Technische Daten](#)
- [Downloads](#)

CO₂-Messung	Messbereich: 0-2.000 ppm (2.001 - 9.999 ppm außerhalb des spezifizierten Bereichs) Auflösung: 1 ppm Genauigkeit: 50 ppm +/- 5% v.M. (0-2000 ppm)
°C-Messung	Messbereich: -10 °C...+60°C Auflösung: 0,1 °C Genauigkeit: +/- 0,6 °C (+/- 0,9 °F)
Luftfeuchtmessung	Messbereich: 5 - 95 % Auflösung: 0,1% Genauigkeit: Bei 10-90%, 25°C: +/- 3 % ansonsten: +/- 5 %
Messwertreihen	5.333 pro Messwert (°C, %rF, CO__2)
Lograten	3 / 10 / 30 Sek. 1 / 3 / 10 / 30 Min. 1 / 3 / 4 Std.

Betrieb nur mit Netzteil

Abbildung B.1: Datenblatt CO₂-Logger

		28.02.12	29.02.12	01.03.12	02.03.12	03.03.12	04.03.12	05.03.12
0:01:42	Messpunkt 1	386 ppm	424 ppm	435 ppm	440 ppm	444 ppm	414 ppm	
0:11:43	Messpunkt 2	384 ppm	425 ppm	435 ppm	440 ppm	444 ppm	414 ppm	
0:21:44	Messpunkt 3	384 ppm	425 ppm	433 ppm	437 ppm	442 ppm	410 ppm	
0:31:45	Messpunkt 4	382 ppm	424 ppm	433 ppm	436 ppm	442 ppm	410 ppm	
0:41:46	Messpunkt 5	382 ppm	422 ppm	432 ppm	436 ppm	441 ppm	408 ppm	
0:51:47	Messpunkt 6	381 ppm	423 ppm	430 ppm	436 ppm	440 ppm	407 ppm	
1:01:48	Messpunkt 7	381 ppm	422 ppm	430 ppm	435 ppm	437 ppm	405 ppm	
1:11:49	Messpunkt 8	378 ppm	423 ppm	429 ppm	433 ppm	436 ppm	405 ppm	
1:21:50	Messpunkt 9	380 ppm	421 ppm	427 ppm	432 ppm	435 ppm	404 ppm	
1:31:51	Messpunkt 10	379 ppm	421 ppm	427 ppm	431 ppm	435 ppm	403 ppm	
1:41:52	Messpunkt 11	378 ppm	419 ppm	425 ppm	431 ppm	432 ppm	400 ppm	
1:51:53	Messpunkt 12	378 ppm	420 ppm	426 ppm	429 ppm	432 ppm	399 ppm	
2:01:54	Messpunkt 13	377 ppm	418 ppm	424 ppm	430 ppm	430 ppm	398 ppm	
2:11:55	Messpunkt 14	375 ppm	419 ppm	423 ppm	428 ppm	430 ppm	397 ppm	
2:21:56	Messpunkt 15	375 ppm	417 ppm	423 ppm	428 ppm	427 ppm	396 ppm	
2:31:57	Messpunkt 16	375 ppm	417 ppm	421 ppm	427 ppm	427 ppm	394 ppm	
2:41:58	Messpunkt 17	376 ppm	416 ppm	420 ppm	425 ppm	425 ppm	394 ppm	
2:51:59	Messpunkt 18	373 ppm	416 ppm	419 ppm	424 ppm	425 ppm	391 ppm	
3:02:00	Messpunkt 19	371 ppm	416 ppm	419 ppm	424 ppm	424 ppm	392 ppm	
3:12:01	Messpunkt 20	372 ppm	416 ppm	418 ppm	423 ppm	423 ppm	390 ppm	
3:22:02	Messpunkt 21	371 ppm	415 ppm	417 ppm	422 ppm	423 ppm	390 ppm	
3:32:03	Messpunkt 22	371 ppm	415 ppm	417 ppm	420 ppm	421 ppm	388 ppm	
3:42:04	Messpunkt 23	370 ppm	413 ppm	416 ppm	420 ppm	420 ppm	386 ppm	
3:52:05	Messpunkt 24	369 ppm	413 ppm	414 ppm	418 ppm	419 ppm	385 ppm	
4:02:06	Messpunkt 25	369 ppm	414 ppm	415 ppm	419 ppm	417 ppm	384 ppm	
4:12:07	Messpunkt 26	369 ppm	412 ppm	413 ppm	419 ppm	418 ppm	385 ppm	
4:22:08	Messpunkt 27	368 ppm	412 ppm	412 ppm	417 ppm	415 ppm	383 ppm	
4:32:09	Messpunkt 28	367 ppm	410 ppm	412 ppm	416 ppm	415 ppm	382 ppm	
4:42:10	Messpunkt 29	365 ppm	411 ppm	410 ppm	416 ppm	414 ppm	381 ppm	
4:52:11	Messpunkt 30	402 ppm	411 ppm	408 ppm	414 ppm	413 ppm	379 ppm	
5:02:12	Messpunkt 31	398 ppm	408 ppm	408 ppm	414 ppm	412 ppm	379 ppm	
5:12:13	Messpunkt 32	401 ppm	408 ppm	407 ppm	414 ppm	411 ppm	378 ppm	

Abbildung B.2: Messreihe CO₂-Konzentration - Seite 1

		28.02.12	29.02.12	01.03.12	02.03.12	03.03.12	04.03.12	05.03.12
5:22:14	Messpunkt 33	400 ppm	408 ppm	408 ppm	413 ppm	410 ppm	378 ppm	
5:32:15	Messpunkt 34	399 ppm	409 ppm	407 ppm	411 ppm	409 ppm	376 ppm	
5:42:16	Messpunkt 35	397 ppm	408 ppm	406 ppm	412 ppm	409 ppm	375 ppm	
5:52:17	Messpunkt 36	401 ppm	417 ppm	415 ppm	418 ppm	409 ppm	376 ppm	
6:02:18	Messpunkt 37	410 ppm	422 ppm	428 ppm	432 ppm	419 ppm	389 ppm	
6:12:19	Messpunkt 38	420 ppm	430 ppm	438 ppm	434 ppm	438 ppm	399 ppm	
6:22:20	Messpunkt 39	421 ppm	432 ppm	441 ppm	432 ppm	442 ppm	403 ppm	
6:32:21	Messpunkt 40	420 ppm	431 ppm	438 ppm	432 ppm	442 ppm	402 ppm	
6:42:22	Messpunkt 41	420 ppm	430 ppm	438 ppm	431 ppm	440 ppm	402 ppm	
6:52:23	Messpunkt 42	419 ppm	431 ppm	441 ppm	437 ppm	438 ppm	401 ppm	
7:02:24	Messpunkt 43	428 ppm	437 ppm	458 ppm	440 ppm	442 ppm	410 ppm	
7:12:25	Messpunkt 44	436 ppm	441 ppm	469 ppm	442 ppm	446 ppm	415 ppm	
7:22:26	Messpunkt 45	436 ppm	445 ppm	480 ppm	441 ppm	445 ppm	419 ppm	
7:32:27	Messpunkt 46	519 ppm	509 ppm	596 ppm	441 ppm	445 ppm	425 ppm	
7:42:28	Messpunkt 47	723 ppm	871 ppm	864 ppm	440 ppm	443 ppm	440 ppm	
7:52:29	Messpunkt 48	1.046 ppm	1.097 ppm	1.019 ppm	445 ppm	441 ppm	448 ppm	
8:02:30	Messpunkt 49	1.136 ppm	1.191 ppm	1.118 ppm	447 ppm	444 ppm	469 ppm	
8:12:31	Messpunkt 50	1.178 ppm	1.209 ppm	1.142 ppm	448 ppm	444 ppm	465 ppm	
8:22:32	Messpunkt 51	1.210 ppm	1.257 ppm	1.163 ppm	448 ppm	446 ppm	480 ppm	
8:32:33	Messpunkt 52	1.228 ppm	1.252 ppm	1.165 ppm	446 ppm	445 ppm	511 ppm	
8:42:34	Messpunkt 53	1.215 ppm	1.262 ppm	1.146 ppm	446 ppm	445 ppm	1.059 ppm	
8:52:35	Messpunkt 54	1.237 ppm	1.183 ppm	1.122 ppm	448 ppm	442 ppm	1.137 ppm	
9:02:36	Messpunkt 55	1.240 ppm	1.128 ppm	1.088 ppm	449 ppm	443 ppm	1.201 ppm	
9:12:37	Messpunkt 56	1.240 ppm	1.164 ppm	1.026 ppm	449 ppm	445 ppm	1.201 ppm	
9:22:38	Messpunkt 57	1.261 ppm	1.229 ppm	1.112 ppm	449 ppm	445 ppm	1.283 ppm	
9:32:39	Messpunkt 58	1.275 ppm	1.174 ppm	1.029 ppm	447 ppm	444 ppm	1.269 ppm	
9:42:40	Messpunkt 59	1.222 ppm	1.173 ppm	999 ppm	447 ppm	442 ppm	1.011 ppm	
9:52:41	Messpunkt 60	1.267 ppm	1.056 ppm	858 ppm	446 ppm	441 ppm	899 ppm	
10:02:42	Messpunkt 61	1.318 ppm	1.025 ppm	896 ppm	446 ppm	442 ppm	1.040 ppm	
10:12:43	Messpunkt 62	1.298 ppm	821 ppm	885 ppm	445 ppm	444 ppm	1.218 ppm	
10:22:44	Messpunkt 63	1.294 ppm	967 ppm	913 ppm	445 ppm	447 ppm	1.478 ppm	
10:32:45	Messpunkt 64	1.283 ppm	1.044 ppm	995 ppm	443 ppm	446 ppm	856 ppm	

Abbildung B.3: Messreihe CO₂-Konzentration - Seite 2

		28.02.12	29.02.12	01.03.12	02.03.12	03.03.12	04.03.12	05.03.12
10:42:46	Messpunkt 65		1.252 ppm	1.033 ppm	991 ppm	441 ppm	446 ppm	770 ppm
10:52:47	Messpunkt 66		1.345 ppm	1.008 ppm	1.037 ppm	441 ppm	444 ppm	689 ppm
11:02:48	Messpunkt 67		1.310 ppm	806 ppm	987 ppm	437 ppm	449 ppm	685 ppm
11:12:49	Messpunkt 68		1.270 ppm	704 ppm	1.053 ppm	437 ppm	453 ppm	671 ppm
11:22:50	Messpunkt 69		1.242 ppm	660 ppm	1.082 ppm	435 ppm	453 ppm	671 ppm
11:32:51	Messpunkt 70		1.214 ppm	882 ppm	1.027 ppm	434 ppm	453 ppm	719 ppm
11:42:52	Messpunkt 71		1.258 ppm	1.132 ppm	878 ppm	430 ppm	453 ppm	806 ppm
11:52:53	Messpunkt 72		1.209 ppm	1.155 ppm	750 ppm	428 ppm	451 ppm	903 ppm
12:02:54	Messpunkt 73		1.172 ppm	1.137 ppm	661 ppm	427 ppm	448 ppm	2.475 ppm
12:12:55	Messpunkt 74		1.159 ppm	1.172 ppm	589 ppm	426 ppm	448 ppm	998 ppm
12:22:56	Messpunkt 75		1.080 ppm	1.120 ppm	549 ppm	424 ppm	446 ppm	1.104 ppm
12:32:57	Messpunkt 76		1.036 ppm	932 ppm	815 ppm	423 ppm	445 ppm	1.144 ppm
12:42:58	Messpunkt 77		1.097 ppm	792 ppm	962 ppm	423 ppm	445 ppm	991 ppm
12:52:59	Messpunkt 78		1.075 ppm	697 ppm	1.102 ppm	422 ppm	443 ppm	939 ppm
13:03:00	Messpunkt 79		1.042 ppm	602 ppm	1.157 ppm	422 ppm	441 ppm	1.021 ppm
13:13:01	Messpunkt 80		989 ppm	541 ppm	1.245 ppm	420 ppm	441 ppm	1.104 ppm
13:23:02	Messpunkt 81		860 ppm	517 ppm	1.124 ppm	420 ppm	439 ppm	1.094 ppm
13:33:03	Messpunkt 82		729 ppm	525 ppm	1.197 ppm	419 ppm	438 ppm	888 ppm
13:43:04	Messpunkt 83		610 ppm	524 ppm	1.278 ppm	417 ppm	436 ppm	
13:53:05	Messpunkt 84	727 ppm	598 ppm	515 ppm	1.326 ppm	417 ppm	434 ppm	
14:03:06	Messpunkt 85	642 ppm	542 ppm	501 ppm	1.292 ppm	417 ppm	430 ppm	
14:13:07	Messpunkt 86	603 ppm	513 ppm	486 ppm	1.347 ppm	418 ppm	429 ppm	
14:23:08	Messpunkt 87	571 ppm	514 ppm	470 ppm	1.298 ppm	416 ppm	429 ppm	
14:33:09	Messpunkt 88	584 ppm	542 ppm	467 ppm	1.238 ppm	414 ppm	428 ppm	
14:43:10	Messpunkt 89	594 ppm	582 ppm	464 ppm	986 ppm	414 ppm	425 ppm	
14:53:11	Messpunkt 90	603 ppm	597 ppm	458 ppm	982 ppm	415 ppm	423 ppm	
15:03:12	Messpunkt 91	565 ppm	541 ppm	453 ppm	831 ppm	414 ppm	424 ppm	
15:13:13	Messpunkt 92	550 ppm	513 ppm	444 ppm	727 ppm	414 ppm	424 ppm	
15:23:14	Messpunkt 93	575 ppm	514 ppm	442 ppm	677 ppm	413 ppm	424 ppm	
15:33:15	Messpunkt 94	600 ppm	530 ppm	444 ppm	622 ppm	412 ppm	421 ppm	
15:43:16	Messpunkt 95	619 ppm	542 ppm	444 ppm	615 ppm	410 ppm	422 ppm	
15:53:17	Messpunkt 96	616 ppm	554 ppm	438 ppm	584 ppm	413 ppm	421 ppm	

Abbildung B.4: Messreihe CO₂-Konzentration - Seite 3

		28.02.12	29.02.12	01.03.12	02.03.12	03.03.12	04.03.12	05.03.12
16:03:18	Messpunkt 97	577 ppm	507 ppm	434 ppm	575 ppm	413 ppm	420 ppm	
16:13:19	Messpunkt 98	557 ppm	496 ppm	439 ppm	591 ppm	415 ppm	421 ppm	
16:23:20	Messpunkt 99	581 ppm	498 ppm	435 ppm	591 ppm	414 ppm	420 ppm	
16:33:21	Messpunkt 100	589 ppm	514 ppm	429 ppm	587 ppm	413 ppm	420 ppm	
16:43:22	Messpunkt 101	602 ppm	526 ppm	427 ppm	585 ppm	411 ppm	418 ppm	
16:53:23	Messpunkt 102	603 ppm	533 ppm	427 ppm	583 ppm	413 ppm	418 ppm	
17:03:24	Messpunkt 103	579 ppm	501 ppm	427 ppm	580 ppm	414 ppm	416 ppm	
17:13:25	Messpunkt 104	553 ppm	495 ppm	441 ppm	586 ppm	414 ppm	419 ppm	
17:23:26	Messpunkt 105	564 ppm	490 ppm	430 ppm	664 ppm	415 ppm	420 ppm	
17:33:27	Messpunkt 106	537 ppm	494 ppm	429 ppm	560 ppm	413 ppm	418 ppm	
17:43:28	Messpunkt 107	491 ppm	520 ppm	428 ppm	540 ppm	410 ppm	418 ppm	
17:53:29	Messpunkt 108	457 ppm	538 ppm	429 ppm	515 ppm	414 ppm	415 ppm	
18:03:30	Messpunkt 109	441 ppm	512 ppm	431 ppm	487 ppm	416 ppm	416 ppm	
18:13:31	Messpunkt 110	424 ppm	492 ppm	431 ppm	475 ppm	416 ppm	418 ppm	
18:23:32	Messpunkt 111	415 ppm	473 ppm	432 ppm	471 ppm	416 ppm	419 ppm	
18:33:33	Messpunkt 112	419 ppm	473 ppm	430 ppm	469 ppm	417 ppm	417 ppm	
18:43:34	Messpunkt 113	419 ppm	471 ppm	430 ppm	468 ppm	414 ppm	415 ppm	
18:53:35	Messpunkt 114	419 ppm	470 ppm	430 ppm	463 ppm	421 ppm	416 ppm	
19:03:36	Messpunkt 115	408 ppm	459 ppm	430 ppm	456 ppm	426 ppm	416 ppm	
19:13:37	Messpunkt 116	401 ppm	448 ppm	432 ppm	453 ppm	429 ppm	419 ppm	
19:23:38	Messpunkt 117	398 ppm	446 ppm	431 ppm	455 ppm	427 ppm	419 ppm	
19:33:39	Messpunkt 118	398 ppm	444 ppm	431 ppm	481 ppm	428 ppm	418 ppm	
19:43:40	Messpunkt 119	397 ppm	446 ppm	430 ppm	468 ppm	426 ppm	417 ppm	
19:53:41	Messpunkt 120	398 ppm	443 ppm	478 ppm	461 ppm	431 ppm	416 ppm	
20:03:42	Messpunkt 121	394 ppm	442 ppm	456 ppm	460 ppm	435 ppm	417 ppm	
20:13:43	Messpunkt 122	391 ppm	438 ppm	449 ppm	455 ppm	434 ppm	422 ppm	
20:23:44	Messpunkt 123	390 ppm	437 ppm	445 ppm	452 ppm	433 ppm	422 ppm	
20:33:45	Messpunkt 124	388 ppm	437 ppm	444 ppm	451 ppm	432 ppm	421 ppm	
20:43:46	Messpunkt 125	389 ppm	436 ppm	443 ppm	450 ppm	431 ppm	420 ppm	
20:53:47	Messpunkt 126	388 ppm	435 ppm	442 ppm	450 ppm	436 ppm	419 ppm	
21:03:48	Messpunkt 127	387 ppm	431 ppm	442 ppm	447 ppm	439 ppm	420 ppm	
21:13:49	Messpunkt 128	383 ppm	432 ppm	442 ppm	448 ppm	440 ppm	420 ppm	

Abbildung B.5: Messreihe CO₂-Konzentration - Seite 4

		28.02.12	29.02.12	01.03.12	02.03.12	03.03.12	04.03.12	05.03.12
21:23:50	Messpunkt 129	384 ppm	431 ppm	442 ppm	446 ppm	439 ppm	421 ppm	
21:33:51	Messpunkt 130	384 ppm	431 ppm	441 ppm	444 ppm	438 ppm	420 ppm	
21:43:52	Messpunkt 131	383 ppm	430 ppm	440 ppm	445 ppm	438 ppm	419 ppm	
21:53:53	Messpunkt 132	383 ppm	429 ppm	440 ppm	444 ppm	440 ppm	416 ppm	
22:03:54	Messpunkt 133	385 ppm	432 ppm	444 ppm	443 ppm	442 ppm	417 ppm	
22:13:55	Messpunkt 134	388 ppm	435 ppm	445 ppm	443 ppm	442 ppm	421 ppm	
22:23:56	Messpunkt 135	390 ppm	434 ppm	445 ppm	442 ppm	441 ppm	421 ppm	
22:33:57	Messpunkt 136	390 ppm	435 ppm	445 ppm	442 ppm	441 ppm	420 ppm	
22:43:58	Messpunkt 137	388 ppm	434 ppm	443 ppm	441 ppm	439 ppm	419 ppm	
22:53:59	Messpunkt 138	388 ppm	433 ppm	442 ppm	441 ppm	446 ppm	417 ppm	
23:04:00	Messpunkt 139	391 ppm	430 ppm	440 ppm	443 ppm	449 ppm	418 ppm	
23:14:01	Messpunkt 140	388 ppm	428 ppm	440 ppm	443 ppm	449 ppm	419 ppm	
23:24:02	Messpunkt 141	387 ppm	427 ppm	438 ppm	443 ppm	449 ppm	420 ppm	
23:34:03	Messpunkt 142	386 ppm	427 ppm	437 ppm	442 ppm	446 ppm	418 ppm	
23:44:04	Messpunkt 143	387 ppm	427 ppm	434 ppm	442 ppm	446 ppm	417 ppm	
23:54:05	Messpunkt 144	386 ppm	426 ppm	435 ppm	439 ppm		416 ppm	

Abbildung B.6: Messreihe CO₂-Konzentration - Seite 5

Berechnung der CO₂-Konzentration in einem Raum

Eingabe der Personenanzahl sowie Alter und Aktivitätsgrad der Personen

		Alter der Personen					
		< 1 Jahr	1-3 Jahre	4-6 Jahre	7-9 Jahre	10-14 Jahre	> 14 Jahre
Aktivität	Ruhe						20
	leichte Aktivität						
	mäßige Aktivität						
	intensive Aktivität						

Der gesamte CO₂-Ausstoß durch die Personenbelegung im Raum beträgt: 440,0 l/hWo wird das Gebäude errichtet, welchen CO₂-Gehalt wird die Außenluft an diesem Ort haben?

Standort:	CO ₂ -Konzentration:
ländlicher Bereich:	350 - 450 ppm
städtischer Bereich:	450 - 550 ppm
innerstädtischer Bereich (auch neben stark befahrenen Straßen):	550 - 600 ppm

Die CO₂-Konzentration in der Außenluft beträgt: 450 ppm

Welcher Volumenstrom muss erreicht werden, um die von der ÖNORM EN 13779 definierten Raumluftqualitäten im Raum zu erzielen?

	Standardwert CO ₂	benötigter Luft-Volumenstrom:
RAL1 - spezielle Raumluftqualität	800 ppm	1257 m ³ /h
RAL2 - hohe Raumluftqualität	950 ppm	880 m ³ /h
RAL3 - mittlere Raumluftqualität	1250 ppm	550 m ³ /h
RAL4 - niedrige Raumluftqualität	1650 ppm	367 m ³ /h

Der gewählte Volumenstrom beträgt: 620 m³/hDie Geometrie des Raums muss für die Berechnung der CO₂-Konzentration bekannt sein.

Länge des Raums: 7,20 m
 Breite des Raums: 10,00 m
 Höhe des Raums: 3,00 m

Die Raumkubatur beträgt: 216,00 m³

Zusammenfassung der bekannten und errechneten Daten:

Anzahl der Personen:	20 Pers.	gewählter Luftvolumenstrom:	620 m ³ /h
Raumkubatur:	216,00 m ³	erreichter Luftwechsel im Raum:	2,9 1/h
Betrachtungszeitraum:	60 min		

Abbildung B.7: CO₂-Konzentration berechnet analog zu Messreihe - Seite 1

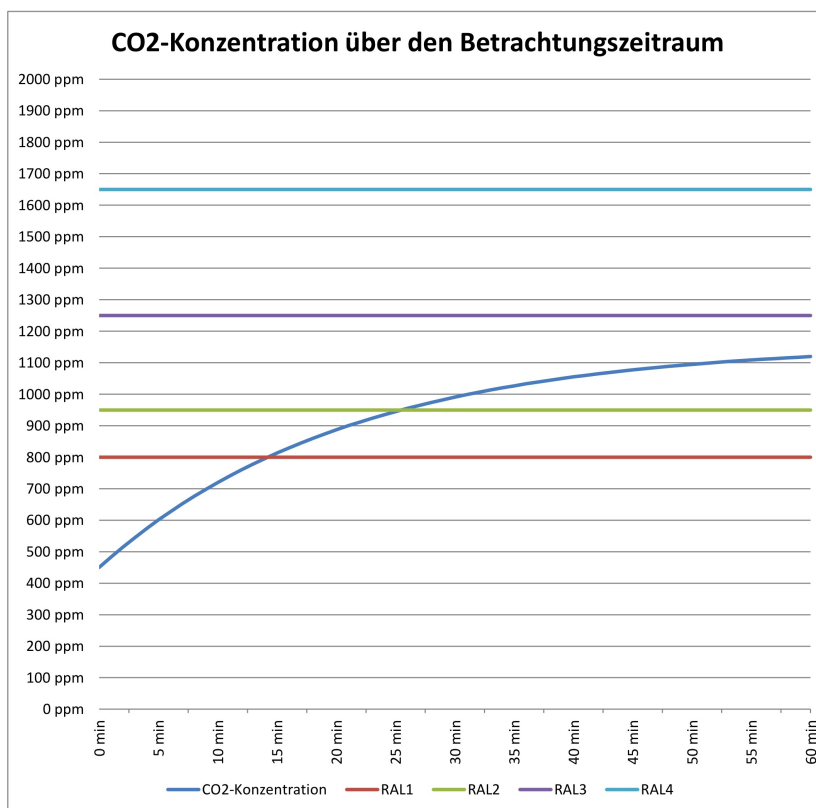
Die maximale CO₂-Konzentration im Raum während des Betrachtungszeitraums beträgt:

$$\underline{\underline{cr = 1119 \text{ ppm}}}$$

Die absolut maximale CO₂-Konzentration im Raum beträgt:

$$\underline{\underline{cr_{max} = 1160 \text{ ppm}}}$$

Dabei nimmt die CO₂-Konzentration folgenden Verlauf:



ZU BEACHTEN:

Dieser Verlauf kann nicht die Realität abbilden, da Ereignisse, wie z.B. ein kurz geöffnetes Fenster oder eine kurzfristig niedrigere Belegung nicht dargestellt werden können.

CO₂-Verlauf HTL Itzling BERECHNET.xlsx
Raum XX

Ing. Sebastian Hochreiter
11.06.2012

Abbildung B.8: CO₂-Konzentration berechnet analog zu Messreihe - Seite 2

Literaturverzeichnis

- [1] AIDA International: World Records. URL: <<http://www.aidainternational.org/competitive/worlds-records>>, verfügbar am 26.05.2012
- [2] Baumgarth, Siegfried; Hörner, Berndt; Reeker, Josef: Handbuch der Klimatechnik - Band 1: Grundlagen - 5. Aufl. Berlin : VDE, 2011
- [3] Hörner, Berndt; Schmidt, Manfred: Handbuch der Klimatechnik - Band 2: Anwendungen - 5. Aufl. Berlin : VDE, 2011
- [4] Recknagel, Hermann; Sprenger, Eberhard; Schramek, Ernst-Rudolf: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik (DVD-Ausgabe). 75. Aufl. München : Oldenbourg Industrieverlag, 2011
- [5] ÖNORM H 6000-3 (Ausgabe 1989-01-01) Lüftungstechnische Anlagen - Hygienische und physiologische Anforderungen für den Aufenthaltsbereich von Personen
- [6] ÖNORM H 6039 (Ausgabe 2008-11-01) Lüftungstechnische Anlagen - Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung von Schul-, Unterrichts- oder Gruppenräumen sowie Räumen mit ähnlicher Zweckbestimmung
- [7] ÖNORM EN 13779 (Ausgabe 2005-05-11) Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage
- [8] ÖISS Richtlinien für den Schulbau (Ausgabe Jänner 2007)
- [9] Hehl, Oliver; Grams, Herbert: Handbuch zum Programm QUIRL/CO2. - 1. Aufl. Hannover : Niedersächsisches Landesgesundheitsamt, 2003
- [10] Human, Katy <katy.g.human@noaa.gov>National Oceanic and Atmospheric Administration:Carbon dioxide levels reach milestone at Arctic sites - NOAA cooperative measurements in remote, northern sites hit greenhouse gas milestone in April, in <researchmatters.noaa.gov/news/Pages/arcticCO2.aspx>, verfügbar am 03.06.2012
- [11] ÖNORM EN 12831; Ausgabedatum 2003-12-01; Titel: Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast
- [12] ÖNORM H 7500; Ausgabedatum 2006-01-01; Titel: Heizungssysteme in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast (Nationale Ergänzung zu ÖNORM EN 12831)
- [13] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Klimadaten von Österreich (1971-2000) Klimastandort Badgastein, in http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm, verfügbar am 23.03.2012
- [14] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Klimadaten von Österreich (1971-2000) Klimastandort Salzburg, in http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm, verfügbar am 23.03.2012

- [15] Wargocki, Pawel; Seppänen, Olli; Anderson, Johnny; Boerstra, Atze; Clemets-Croome, Derek; Fitzner, Klaus; Hanssen, Sten Olaf: Indoor Climate and Productivity in Offices : How to integrate productivity in life-cycle cost analysis of building services. - 2. Aufl. Forssa : Forssan Kirjapaino Oy, 2006
- [16] Hanushek, Eric; Woessmann, Ludger: The High Cost of Low Educational Performance : The Long-Run Economic Impact of Improving PISA Outcomes. - 1. Aufl. Paris : OECD Publishing, 2010
- [17] Pölz, Werner; Böhmer, Sigmund: Emissionen der Fernwärme Wien 2003 : Ökobilanz der Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen aus dem Anlagenspark der Fernwärme Wien GmbH. 1. Aufl. Wien : Umweltbundesamt, 2005
- [18] Daten und Fakten zum Strompreis : Warum ein Tag Strom weniger kostet als eine Tasse Espresso. 1. Aufl. Wien : Österreichs E-Wirtschaft-Akad., 2010

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, 21. Oktober 2012